

Moritz Vogel

Thema der Diplomarbeit:
Potentiale und Anforderungen bei der Durchführung eines
Energiespar- Contractings
an den Städtischen Theatern ChemnitzgmbH

HochschuleMittweida (FH)
University of Applied Sciences

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Mittweida, 25.03.2011

Erstprüfer : Prof. Dr.-Ing. Ralf Hartig

Zweitprüfer: Dipl.- Ing Uwe Kluge

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die in den beigefügten Verzeichnissen angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Mittweida, den 25.03.2011

Bibliographische Angaben

Vogel, Moritz:

„Potentiale und Anforderungen bei der Durchführung eines Energiespar- Contractings an den Städtischen Theatern ChemnitzGmbH“

Hochschule Mittweida (University of Applied Sciences);

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

März 2011-03-25

Seiten 111, davon Text 88

Referat:

Zum Ziel der Anlagenerneuerung und der Energiekostensenkung wird an den Städtischen Theatern Chemnitz aktuell das Thema „Energiespar- Contracting“ diskutiert. Die Diplomarbeit soll dahingehend die wichtigsten Fakten zum Energiespar- Contracting darstellen und diese in Verbindung mit der Anlagentechnik von Opernhaus und Schauspielhaus bringen. Des Weiteren sollen Maßnahmen genannt werden, die in den einzelnen technischen Bereichen zu einer Energiekostensenkung führen können. Mit Hilfe eines Wirtschaftlichkeitsvergleich sind aus den Kostensenkungen die Potentiale und Risiken, für verschiedene Durchführungsvarianten des Energiespar- Contractings, abzuschätzen und gegenüber zu stellen. Zu diesem Zwecke sind alle geltenden rechtlichen Normen und Richtlinien einzubeziehen.

Vorwort

Mit einem Energiespar- Contractingbewegt man sich in den neuen Bundesländern meist auf Neuland. Durch verschiedenste Faktoren beeinflusst, ist vielerorts die Skepsis gegenüber solchen Projekten sehr groß. Ein Aspekt sind wahrscheinlich Negativbeispiele, die eine verzerrte Einschätzung der Projekte nach sich ziehen.

Es war somit eine interessante Herausforderung, die Anforderungen und Potentiale in Bezug auf ein Energiespar- Contracting an den Städtischen Theatern Chemnitz zu analysieren und darzustellen.

Die vorliegende Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit der SAENA GmbH und den Städtischen Theatern ChemnitzgmbH.

Ein besonderer Dank gebührt Herrn Dipl.- Ing. U. Kluge, der es mir durch seine Unterstützung ermöglicht hat, dieses vielschichtige Thema aufzuarbeiten.

Zusätzliche möchte ich Herrn R. Ullrich danken, ohne dessen Engagement diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Seitens der Hochschule gilt mein Dank für die Betreuung und Aufgabe des Erstprüfers Herrn Prof. Dr.- Ing. R. Hartig.



Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Angaben.....	I
Vorwort.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Begriffsbestimmungen	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Problemstellung	1
2 Grundlagen zum Energiespar- Contracting.....	4
2.1 Vorbetrachtung zum Energiespar- Contracting	4
2.2 Generelle Beschreibung des Energiespar-Contractings.....	5
2.3 Rahmenbedingungen für ein ESC.....	7
2.4 Forfaitierung	8
2.5 Ein- und zweistufiges ESC	9
2.5.1 Einstufiges Energiespar- Contracting:.....	9
2.5.2 Zweistufiges Energiespar- Contracting	11
2.5.3 Vergleich der Vorgehensweisen.....	12
3 Beschreiben der Anlagentechnik.....	14
3.1 Trinkwassertechnische- Anlagen.....	15
3.1.1 Allgemeine Erläuterung zur Trinkwassertechnischen- Anlagen	15
3.1.2 Beschreibung der Trinkwassertechnischen- Anlage im Opernhaus	17
3.1.3 Beschreibung der Trinkwassertechnischen- Anlage Schauspielhaus.....	18
3.2 Wärmetechnischen- Anlage	19
3.2.1 Allgemeine Erläuterungen zur Wärmetechnischen- Anlage	19
3.2.2 Wärmeversorgung im Opernhaus	20
3.2.3 Wärmeversorgung im Schauspielhaus	24
3.3 Raumluftechnische- Anlagen.....	25
3.3.1 Allgemeine Erläuterung zu Raumluftechnischen- Anlagen	26
3.3.2 Raumluftechnische- Anlagen im Opernhaus.....	27
3.3.3 Raumluftechnische- Anlagen im Schauspielhaus	35
3.4 Beleuchtungstechnische- Anlagen.....	37
3.4.1 Allgemeine Erläuterungen zur Beleuchtung.....	37
3.4.2 Beschreibung der Beleuchtungsanlagen der Opernhaus	39

3.4.3	Beschreibung der Beleuchtungsanlagen im Schauspielhaus	40
3.5	Gebäudeleittechnische- Anlagen	41
3.5.1	Allgemeine Erläuterungen zu Gebäudeleittechnischen- Anlagen	41
3.5.2	Beschreibung der Gebäudeleittechnischen- Anlage des Opernhaus	44
3.5.3	Beschreibung der Gebäudeleittechnischen- Anlage des Schauspielhaus	46
3.5.4	Beschreibung der Feldebene.....	47
4	Verbrauchskostenbetrachtung	50
4.1	Betrachtung der Medienverbräuche im Opernhaus	50
4.1.1	Verbrauch und Kosten der Wärmemedien im Opernhaus.....	50
4.1.2	Verbrauch und Kosten der Wärmemedien im Schauspielhaus.	54
4.1.3	Verbrauch und Kosten von Strom im Opernhaus.....	55
4.1.4	Verbrauch und Kosten von Strom im Schauspielhaus	57
4.2	Energiekostenentwicklung.....	58
5	Maßnahmen zur Kosteneinsparung der Anlagen	59
5.1	Einsparmaßnahmen an den Trinkwassertechnischen- Anlagen.....	59
5.1.1	Auswertung der Maßnahmen an den Wassertechnischen- Anlagen	60
5.2	Einsparmaßnahmen an den Wärmetechnischen- Anlagen.....	61
5.3	Einsparmaßnahmen an den RLT- Anlagen.....	62
5.3.1	Wärmerückgewinnung.....	63
5.3.2	Ventilatoren	65
5.3.3	Bauliche Anforderungen.....	65
5.3.4	Auswertung der Maßnahmen der RLT- Anlage	67
5.4	Einsparmaßnahmen an den Beleuchtungsanlagen.....	69
5.4.1	Beispiel einer High Efficiency Leuchtstofflampe	70
5.4.2	Auswertung der Maßnahmen an den Beleuchtungsanlagen.....	71
5.5	Überblick der Einsparungen	72
6	Wirtschaftlichkeitsvergleich	74
6.1	Grundlagen des Wirtschaftlichkeitsvergleich	74
6.2	Gegenüberstellung 1 (ESC mit Baukostenzuschuss und Eigenbesorgung).....	77
6.3	Gegenüberstellung 2 (reines ESC und Eigenbesorgung).....	79
6.4	Nutzwertanalyse.....	80
7	Zusammenfassung.....	82
8	Thesen zum Energiespar- Contracting	84
9	Literaturverzeichnis.....	85
10	Anlagenverzeichnis	88

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Vergleich der Verbrauchsmedienkosten	2
Abbildung 2: Energiekosten/ Anzahl der Liegenschaften; dena, prognos AG; 2005	4
Abbildung 3: Funktionsprinzip ESC	6
Abbildung 4: Kostenverteilung im ESC	7
Abbildung 5: Ablauf Grobanalyse.....	11
Abbildung 6: Ablauf Feinanalyse.....	12
Abbildung 7: Opernhaus Warmwasserspeicher	18
Abbildung 8: Oper Verteilung Heizkreise.....	23
Abbildung 9: Einteilung der Lufttechnik.....	26
Abbildung 10: Raumluft Zuschauerbereich	30
Abbildung 11: Raumluft Ballettsaal	32
Abbildung 12: Raumluft Bühne	33
Abbildung 13: Raumluft Sozialräume	34
Abbildung 14: Schematische Darstellung der GLT	43
Abbildung 15: GLT im Opernhaus.....	45
Abbildung 16: Verteilung des Fernwärmeverbrauchs im Opernhaus	51
Abbildung 17: Fernkälteverbrauch im Opernhaus	51
Abbildung 18: Gegenüberstellung Wärme,- Kälteverbrauch im Opernhaus	52
Abbildung 19: Vergleich der Wärme- und Kältemengen im Opernhaus	52
Abbildung 20: Vergleich Wärme- und Kältekosten im Opernhaus	53
Abbildung 21: Gegenüberstellung Verbrauch und Kosten im Opernhaus	54
Abbildung 22: Fernwärmeverbrauch im Schauspielhaus.....	54
Abbildung 23: Gesamter Fernwärmeverbrauch der Liegenschaften	55
Abbildung 24: Verteilung des Stromverbrauches im Opernhaus.....	56
Abbildung 25: Anteiliger Vergleich des Stromverbrauches im Opernhaus	56
Abbildung 26: Verteilung des Stromverbrauches im Schauspielhaus.....	57
Abbildung 27: Anteiliger Vergleich des Stromverbrauches im Schauspielhaus.....	57
Abbildung 28: Energiekostenentwicklung bis 2025.....	58
Abbildung 29: Kosteneinsparungen an den Wassertechnischen- Anlagen	61
Abbildung 30: Kosteneinsparungen an den Wärmetechnischen- Anlagen	62

Abbildung 31: Wirkschemata des Kreislaufverbundsystemes	64
Abbildung 32: Größenvergleich von Gesamt- und Einzelanlagen.....	66
Abbildung 33: Kosteneinsparung durch KVS- Systeme	67
Abbildung 34: Kosteneinsparung durch Frequenzumrichter.....	68
Abbildung 35:Kosteneinsparung durch High- Efficiency- Lampen.....	71
Abbildung 36: Einsparungspotentiale der Anlagen.....	72
Abbildung 37: Ergebnisse der Nutzwertanalyse	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kostengliederung nach DIN 267	14
Tabelle 2: Kostengruppen 267	15
Tabelle 3: Schaltstufen der Lüftungsanlage im Schauspielhaus	36
Tabelle 4: Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften.....	38
Tabelle 5: Rechnungsnutzungsdauer von Trinkwassertechnischen- Anlagen; VDI 2067-1	59
Tabelle 6: Rechnungsnutzungsdauer von Heizungstechnischen- Anlagen; VDI 2067-1.....	61
Tabelle 7: Rechnungsnutzungsdauer von Raumluftechnischen- Anlagen; VDI 2067-1.....	63
Tabelle 8: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 32 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)	78
Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 25 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)	78
Tabelle 10: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 20 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)	79
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 25% Einsparungen (EB/ ESC)	79
Tabelle 12: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 20% Einsparungen (EB/ ESC)	80

Begriffsbestimmungen

Baseline der Energiekosten	Energiekosten im Basisjahr, die als Bezugswert für die zu erzielende Energiekosteneinsparung während der Vertragslaufzeit herangezogen werden.
Energiekosten	Die Summe aller Verbrauchskosten, die dem Energiespar- Contracting als Baseline zugrunde gelegt werden. Die Energiekosten umfassen die Verbrauchskosten für Elektroenergie, Heizenergie und Kälte.
Eigenbesorgung	Planung, Finanzierung, bauliche Durchführung, Optimierung, Instandhaltung und Überwachung des Projektes erfolgt in Eigenregie des Liegenschaftseigentümers, der Bauverwaltung und der entsprechenden Fachbetriebe.
Erfolgsgarantie	Vertrag über garantierte Einsparungen an Energiekosten, der zwischen dem Liegenschaftseigentümer und dem Contractor abgeschlossen wird.
Feinanalyse	Umfassende Untersuchung und Analyse von Energiesparmaßnahmen, der erzielbaren Energiekosteneinsparung und der erforderlichen Investitions- und Finanzierungskosten.
Grobanalyse	Erstanalyse von Energiesparmaßnahmen, der erzielbaren Energiekosteneinsparung und der erforderlichen Investitions- und Finanzierungskosten.
Vertragslaufzeit	Zeitdauer zwischen Abschluss des Erfolgsgarantie-Vertrags und dem Vertragsende. Entspricht der Summe aus Vorbereitungsphase und Hauptleistungsphase.
Verbrauchsmedien	Bedarfmittel wie Gas, Strom oder Wasser (Fernwärme/Fernkälte) die zum Betrieb eines Gebäudes benötigt werden.
Umsetzungsphase	In dieser Phase realisiert der Contractor die in der Grob- bzw. Feinanalyse geplanten Energiesparmaßnahmen.
Hauptleistungsphase	Zeitraum der mit dem Ende der Umsetzungsphase beginnt und bis zum Auslaufen des Vertragszeitraumes die Energieeinsparungen durch den Contractor garantiert.

Abkürzungsverzeichnis

BKZ	Baukostenzuschuss
BTA	Betriebstechnische- Anlage
ESC	Energiespar- Contracting
GA- Systeme	Gebäudeautomations- Systeme
GLT	Gebäudeleittechnik
HK	Heizkreis
KVS	Kreislaufverbundsystem
ÖPP	Öffentlich- Private Partnerschaft
RLT	Raumluftechnik
TWW	Trinkwarmwasser
WW	Warmwasser

1 Problemdarstellung

Im Kulturentwicklungsplan 2004 - 2012 der Stadt Chemnitz werden die zukünftigen Schwerpunkte der Theater Chemnitz wie folgt beschrieben:

Die Städtischen Theater beherbergen mit der Robert-Schumann-Philharmonie, der Oper, dem Ballett, dem Chor, dem Schauspiel und dem Figurentheater eine Vielfalt an künstlerischen Genres unter ihrem Dach. Das Mehrspartentheater konnte durch überregional, national und teils international viel beachtete Aufführungen Aufmerksamkeit erzielen. Wichtigstes langfristiges Anliegen der Städtischen Theater ist die Fortsetzung des in der letzten Dekade eingeschlagenen erfolgreichen Weges. Dazu gehören insbesondere die Sicherung der künstlerischen Leistungsfähigkeit, die sich an höchsten künstlerischen Maßstäben orientiert, und eng damit einhergehend der Erhalt der überregionalen, nationalen und teils internationalen Ausstrahlung. Dabei stellt die Orientierung auf das Aufgabenspektrum eines Stadttheaters mit eindeutigem Blick auf das Interesse des traditionellen und des neu zu gewinnenden Publikums den Mittelpunkt der Arbeit dar. Angesichts einer kurz- bis mittelfristig nicht zu erwartenden grundlegenden Besserung der kommunalen Haushaltslage, soll höchste Effizienz des Einsatzes künstlerischer und finanzieller Mittel nach wie vor Arbeitsprinzip sein.¹

In Verbindung dazu betragen nach Einschätzung der aktuellen Haushaltslage die notwendigen Basisinvestitionen in den nächsten 5 Jahren für Schauspielhaus und Opernhaus je 1 Mio. Euro um das hohe Niveau des Spielbetriebs zu erhalten. Weitere 600.000,- € werden danach jährlich für die Liegenschaften der Theater Chemnitz benötigt, um anstehenden Erneuerungs- und Sanierungsmaßnahmen durchzuführen.² Die bauliche Substanz der Theater Chemnitz bedarf hierbei einer gebäudeübergreifenden Sanierung, vor allem im Bereich der technischen Anlagen. Würde z.B. die Raumluftechnische Anlage eines Zuschauerraumes ausfallen, wäre bis zu deren Ersetzung keine Bespielung der Oper möglich. Im Laufe der letzten Jahre sind auf Grund von altersbedingten Ausfällen immer wieder einzelne Bauteile wie z.B. Pumpen oder Mess- und Stellmodule erneuert worden. Anlagenübergreifend wurde nur auf Havariefälle reagiert, eine Grundsanierung erfolgte, vor allem aus Kostengründen, nicht.

¹Stadt Chemnitz. *Kulturentwicklungsplan der Stadt Chemnitz 2004 - 2012*. Chemnitz : s.n., 2004-3; S.66

²Vgl. Ullrich, R. Technischer Direktor Städtische Theater Chemnitz

Der Grund hierfür liegt vor allem in der Geschäftsform der Städtischen Theater Chemnitz, der „gmbH“. Ein Schwerpunkt der „gemeinnützigen Gesellschaft mit beschränkter Haftung“ ist die Deckung aller Kosten aus dem, von der Stadt Chemnitz zur Verfügung gestellten, jährlichen Haushaltsetat. Dies bedeutet, dass mit diesem Etat auch die baulichen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Ein weiterer Nachteil der größtenteils veralteten Technik sind die damit verbundenen hohen Energiekosten.

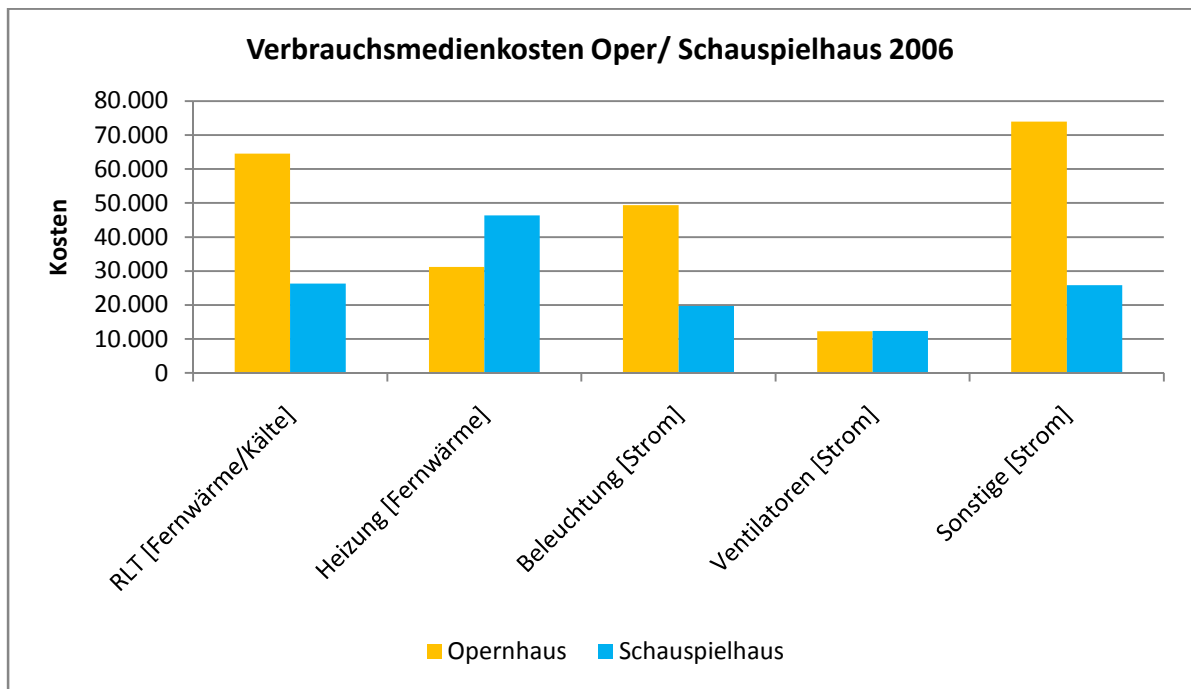


Abbildung 1: Vergleich der Verbrauchsmedienkosten

Damit belaufen sich die Energiekosten für die beiden Objekte auf 361.824 € im Jahr (Stand Baseline 2006)³. Betrachtet man die Energiekosten der Theater Chemnitz mit den Entwicklungen der Energiepreise des „Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie“ der letzten 20 Jahre, so ist eine beträchtliche Steigerung der Preise festzustellen⁴. Den Auswertungen des „Energiewirtschaftlichen Instituts zu Köln“ und der „prognos AG“ zufolge, sind auch in den nächsten 20 Jahren nicht unerhebliche Erhöhungen der Energiepreise zu erwarten.⁵

³Vgl. Städtische Theater Chemnitz. Energieverbrauchs und -kosten Baseline. 2010-03

⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. *Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes*. 2008-6.

⁵Vgl. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln. *Energieraport IX- Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Köln : Prognos AG, 2005.

Zur Modernisierung von Anlagen und Senkung des Primärenergiebedarfes an den Theatern Chemnitz kann ein Energiespar- Contracting eine Lösung sein. In diesem Zusammenhang ist 2006 die Firma Siemens AG mit einem Angebot an die Theater herangetreten.⁶

Dahingehend dient diese Arbeit zum Aufzeigen der Anforderungen die bei der Durchführung eines Energiespar- Contractings an den Städtischen Theatern Chemnitz auftreten. Des Weiteren sollen dabei auch die freizusetzenden Potentiale unter energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten analysiert werden.

⁶Vgl. SIEMENS GmbH. Energiespar-Contracting Städtische Theater Chemnitz. 2006

2 Grundlagen zum Energiespar- Contracting

2.1 Vorbetrachtung zum Energiespar- Contracting

Ein Handlungsfeld des Energiekonzeptes der Bundesregierung vom 06.09.2010 ist die energetische Gebäudesanierung und energieeffizienteres Bauen. Mit der NovelleEnEV 2012 wird die Einführung des Niedrigstenergiegebäudes bis 2021 festgelegt.⁷ Der Sanierungsfahrplan beginnt 2020 mit einem vergleichsweise moderatem Standard und führt bis 2050 stufenweise auf das Zielniveau. Dabei besteht die Wahlfreiheit zwischen Maßnahmen an der Gebäudehülle, Verbesserung der Anlagentechnik oder dem Einsatz erneuerbarer Energien. Des Weiteren erfolgte eine Selbstverpflichtung der Bundesregierung zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes im Geschäftsbereich bis 2012 um 30 Prozent unter den Stand von 1990 mit Hilfe des 2002 initiierten Pilotprojekts „Contracting für Bundesliegenschaften“.⁸

2005 betrugen die Energiekosten zur Bewirtschaftung von öffentliche Liegenschaften 3,6 Mrd. Euro, welche sich wie folgend zusammensetzen:

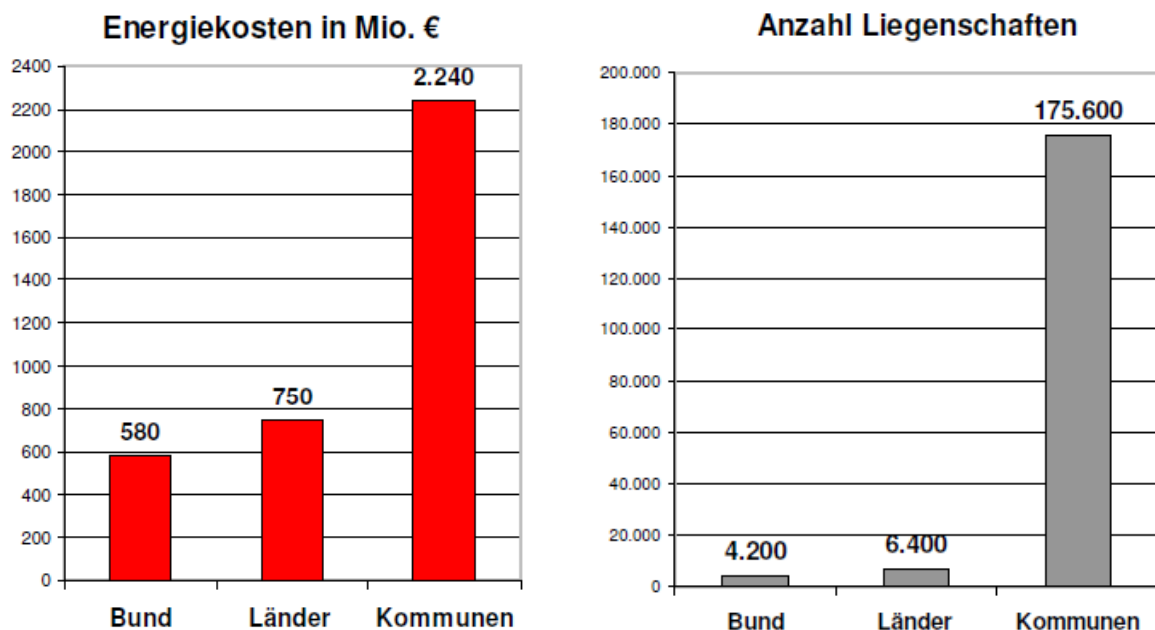


Abbildung 2: Energiekosten/ Anzahl der Liegenschaften; dena, prognos AG; 2005

⁷Vgl. www.enev-online.de. [Online] Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien, 28. 02 2011. http://www.enev-online.de/enev/enev2012_epbd2010_interview_dr_stock_bmvbs_101027.htm#7._Frage.

⁸Dipl.- Ing. Kluge, U. *Contracting_Beispiele_27 09 2010*. [Präsentation] Dresden : s.n., 2010. S.3

Das Energiespar- Contracting ist dafür eine Variante zur Senkung der Energiekosten bei gleichzeitig geringer Kostenbelastung. Energiespar- Contractings fallen in den Bereich der öffentlich- privaten Partnerschaften (ÖPP), welche verschiedene Varianten der Zusammenarbeit von öffentlicher Hand und privater Wirtschaft zusammenfassen. Die Definition der ÖPP ergibt sich aus dem Gutachten „PPP im öffentlichen Hochbau (2003):⁹

ÖPP ist einlangfristige, vertraglich geregelte Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und Privatwirtschaft zur wirtschaftlichen Erfüllung von öffentlichen Aufgaben über den gesamten Lebenszyklus eines Projektes. Für die Aufgabenbewältigung erforderlichen Ressourcen (Know- How, Betriebsmittel, Kapital, Personal, etc.) werden von den Partnern in einem gemeinsamen Organisationsmodell zusammengefasst und vorhandene Projektrisiken entsprechend der Managementkompetenz der Projektpartner angemessen verteilt.¹⁰

2.2 Generelle Beschreibung des Energiespar-Contractings

Generell werden die unterschiedlichen Akteure, die an einem Energiespar- Contracting beteiligt sind in 4 verschiedene Teilnehmer untergliedert.

- „Nutzer ist die hausverwaltende Dienststelle, die auch Vertragspartner im ESC wird
- die Bauverwaltung des jeweiligen Landes übernimmt die fachliche Beratung des Nutzers und die Vorbereitung und Durchführung der Ausschreibung
- Bieter sind alle im Rahmen der Ausschreibung anbietenden Contractoren
- Contractor ist der konkrete Vertragspartner nach erfolgter Vergabe“¹¹

Die Beziehung zwischen Auftragnehmer und Contractor basiert auf einer vertraglichen Garantie der Energiekosteneinsparung und im Gegenzug auf dem Einbehalt eines Anteils an den eingesparten Energiekosten. Hierbei finanziert, plant und errichtet der Contractor Maßnahmen zur Umsetzung der vereinbarten Energieeinsparungen. Des Weiteren übernimmt er die laufende Wartung und Instandhaltung der von ihm eingebauten technischen Anlagen über den ver-

⁹Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. *Erfahrungsbericht Öffentlich- Private- Partnerschaften*. 2007. S.3

¹⁰Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. *Erfahrungsbericht Öffentlich- Private- Partnerschaften*. 2007. S.4

¹¹Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.12

traglich festgesetzten Zeitraum. Der Auftragswert entspricht dabei der Summe der garantierten Kosteneinsparungen.

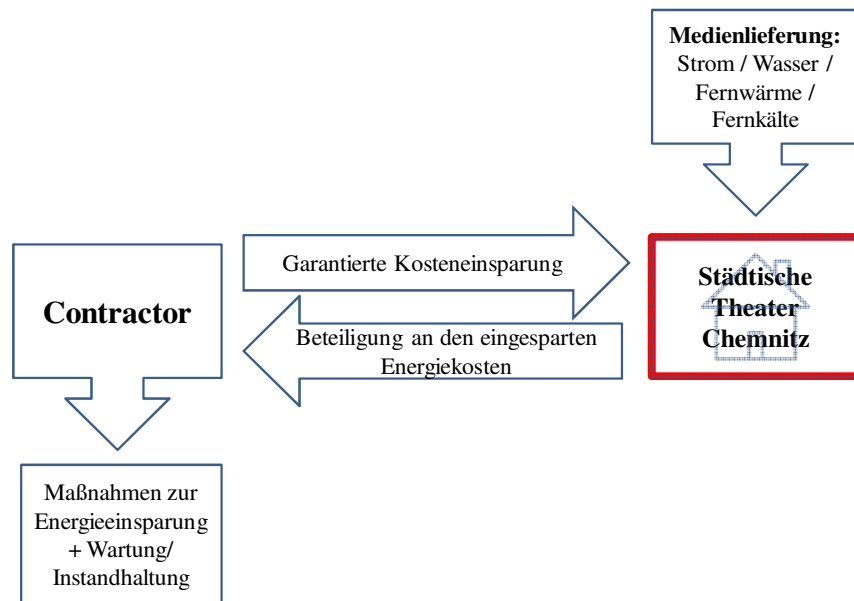


Abbildung 3: Funktionsprinzip ESC

Nach Ablauf des Vertragszeitraumes profitiert der Auftraggeber direkt aus den Energieeinsparungen. Folglich müssen sich die getätigten Investitionen innerhalb der Vertragslaufdauer vollständig aus den erzielten Einsparungen amortisieren, da der Contractor das volle unternehmerische Risiko für die vereinbarten Maßnahmen trägt. Im Unterschied zu klassischen Beschaffungsleistungen wird vom Contractor nicht nur ein abgegrenztes Leistungsspektrum der Unternehmung bearbeitet, sondern es obliegt ihm eine generelle Zuständigkeit und Verantwortung aller Teilbereiche über den gesamten Unternehmungszeitraum hinweg.

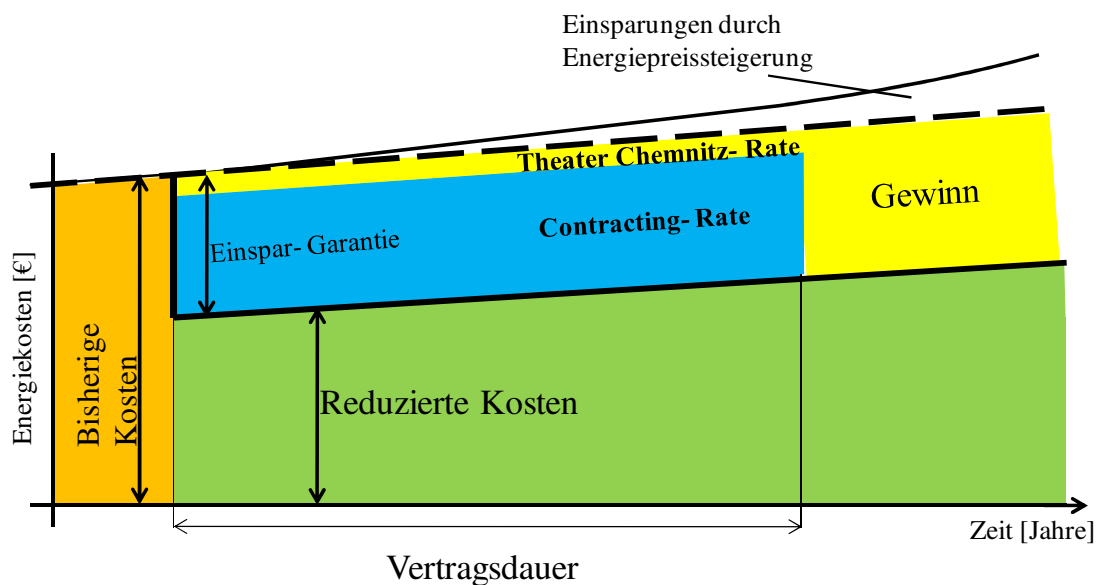


Abbildung 4: Kostenverteilung im ESC

Die bisherigen Energiezahlungen werden, anstatt an die Medienlieferanten, direkt an den Contractor überwiesen. Bedingt durch die Energiesparmaßnahmen sind die Energiekosten in der Hauptleistungsphase des Energiespar- Contractings deutlich reduziert. Diese vertraglich definierte, um Preis, Witterungseinfluss und Nutzung bereinigte Einspar- Garantie wird zu einem großen Teil vom Contractor einbehalten, um seine im Vorfeld getätigten Investitionen zu refinanzieren bzw. die laufenden Kosten der Wartung und Instandhaltung zu decken. Ein im Contracting- Vertrag vereinbarter Anteil der Kosteneinsparungen kann an den Liegenschaftseigentümer bereits während der Hauptleistungsphase ausgezahlt werden. Nach Ablauf der Contracting- Vertragslaufzeit gehen, wie bereits erwähnt, alle Energiekosteneinsparungen direkt in die öffentlichen Kassen.¹²

Die durch Energiepreiserhöhungen theoretisch auftretende Erhöhung der Gesamtenergiekosten, wird zusätzlich durch die getätigten Energiesparmaßnahmen verringert. Demzufolge wird die Preiserhöhung nur auf die reduzierten Kosten umgelegt, es erfolgt eine Einsparung durch Energiepreiserhöhung.

2.3 Rahmenbedingungen für ein ESC

Eine der wichtigsten Voraussetzungen ist, dass der Auftraggeber Eigentümer der Liegenschaft ist. Als Mieter ist er nicht berechtigt, Eingriffe in die Gebäudetechnik und in energierelevante Sanierungsmaßnahmen eigenverantwortlich durchzuführen. Das Objekt sollte während der Vertragslaufzeit nicht veräußert, aufgegeben oder in der Nutzung grundsätzlich verändert werden, um gegenüber dem Contractor eine Planungssicherheit zu gewährleisten.¹³ Liegt einer dieser Fälle vor ist zu überlegen, das Gebäude vom Contracting auszuschließen.

Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für Contracting Maßnahmen sind vor allem jährliche Energiekosten der Hauptverbrauchsmedien Wärme, Kälte und Strom > 250.000,- Euro in Verbindung mit den entsprechenden Medienverbräuchen, die in Form einer repräsentativen Baseline vorliegen.¹⁴ Um eine investitionslohnende jährliche Größenordnung der Energiekosten zu

¹²Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.13

¹³Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.15

¹⁴ Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.16

erreichen, ist im Zuge des ESC eine Poolbildung der Objekte möglich. Die einzelnen Objekte müssen hierbei wieder die generellen Anforderungen an öffentliche Liegenschaften mit Bezug auf das ESC erfüllen, jedoch können in diesem Fall weniger wirtschaftliche Maßnahmen mit hochwirtschaftlichen Maßnahmen unterschiedlicher Gebäude verbunden werden.¹⁵

Der Modernisierungs-, bzw. Optimierungsbedarf in der technischen Gebäudeausrüstung, besonders in den Bereichen Heizungsanlage, Raumluftechnische- Anlage und Gebäudeleittechnik sind in Verbindung mit dem Zustand der Gebäudehülle ein ausschlaggebender Indikator für ein ESC. Bei geplanten Sanierungsmaßnahmen ist zu klären, wie der Planungsstand der Maßnahme ist bzw. ob ggf. bereits Haushaltsmittel bewilligt wurden.

Nach der Anlieferung bzw. Einbringung der für die vereinbarten Energiesparmaßnahmen notwendigen technischen Anlagen/ Geräte/ Sachen, müssen diese vom Auftraggeber abgenommen werden. Mit der vollständigen Abnahme erfolgt auch gleichzeitig ein Eigentumsübergang der benannten Anlagen in den Besitz des Auftraggebers.

Im Erfolgsgarantie-Vertrag ist festgelegt, dass die Gefahr an vom Contractor erbrachten Energiesparmaßnahmen mit der Abnahme auf den Auftraggeber übergeht.¹⁶ Die Wartung/ Instandhaltung sowie die Bereitstellung von Ersatzteilen wird weiterhin über den vom Auftragnehmer garantierten Zeitraum geleistet.

2.4 Forfaitierung

Forfaitierung mit Einredeverzicht ist ein Finanzierungskonzept das vor allem bei PPP- Vorhaben Anwendung findet. Um das Vorhabens zu finanzieren, nimmt der Contractor bei einer Bank einen Kredit auf. Dabei tritt der Contractor seine Forderungen gegenüber dem öffentlichen Liegenschaftseigner ganz oder teilweise an eine Bank ab, welche nun die Raten direkt vom Auftraggeber anfordert. Dabei liegt der Grundgedanke auf dem Übergang des Projektrisikos des Contractor auf das geringere Kreditrisiko der Kommune, was deutlich günstigere Kommunalkredite zur Folge hat und sich somit auch auf die Preisgestaltung des Energiespar-Contractings auswirkt. Dies ist auf den Bonitätsvorteil der öffentlichen gegenüber den privaten Schuldner und auf die nicht notwendige Eigenkapitalhinterlegung nach § 10 KWK zu-

¹⁵ Vgl. Dipl.-Ing. Seefeldt, Friedrich. *Leitfaden für Energiespar-Contracting*. s.l. : Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2003-05 S.13

¹⁶ Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). *Leitfaden Energiespar- Contracting. Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.36

rückzuführen.¹⁷ Durch den Einredeverzicht ist es dem Auftraggeber nicht gestattet, mangels Nichterfüllung von Vertragsbestandteilen durch den Contractor, die Raten gegenüber der Bank in angemessenem Maße zu kürzen. Deshalb ist zu empfehlen, nur die Nutzungsentgelte die zur Refinanzierung der Investitionskosten (max. 70%) benötigt werden, in die Forfaitierung einfließen zu lassen.¹⁸ Somit lässt sich über die Restrate die der Contractor als Gewinn aus dem Vorhaben bezieht auf Schlecht- bzw. Nichtleistung reagieren. Des Weiteren sollte vertraglich festgehalten werden, dass erst mit der Zahlung der Forfaitierungsraten begonnen wird, wenn die Bauphase abgeschlossen ist und alle Anlagen anstandslos abgenommen wurden, um das Risiko der Nichterfüllung seitens des Contractors zu minimieren.

Trotzdem sollte eine Entscheidung zur Forfaitierung auch unter der Beachtung des Insolvenzrisikos des Contractors geschehen, da durch den Einredeverzicht auch in diesem Fall die Forderungen der Bank zu bedienen sind.¹⁹ Entsprechende Sicherheiten und Einflussmöglichkeiten vorausgesetzt kann, vor allem bei langfristigen Vertragsbeziehungen, eine Forfaitierung genehmigt werden.

2.5 Ein- und zweistufiges ESC

Obwohl auf den ersten Blick die Vorgehensweisen bei einem ein- und zweistufigen Energiespar- Contracting fast identisch erscheinen, so lassen sich nach detaillierter Betrachtung die beiden Abläufe spezifischen Gebäudeanforderungen zuordnen. Um Aufschluss über die Beweggründe zum ein- oder zweistufigen ESC zu geben, werden im Folgenden zuerst die Abläufe zu den beiden Alternativen dargestellt.

2.5.1 Einstufiges Energiespar- Contracting:

Nach Zusammenstellung der Ausschreibungsunterlagen auf Grundlage der ermittelten Baselinedaten und der Vergabekriterien seitens des Auftragsnehmers, wird die

¹⁷Vgl. Dr. Stiepelmann, Heiko. *Finanzierung von PPP- Hochbauprojekten*. Berlin : Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., 2006-11. S.5

¹⁸Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). *Leitfaden Energiespar- Contracting. Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.44

¹⁹Vgl. Dr. Stiepelmann, Heiko. *Finanzierung von PPP- Hochbauprojekten*. Berlin : Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., 2006-11. S.4

Vergabebekanntmachung veröffentlicht. Im ersten Teil der Angebotserstellungsphase werden die Liegenschaften durch die Bieter begangen. Mit Hilfe der im Ausschreibungsverfahren ausgereichten Liegenschaftsunterlagen erstellt jeder Interessent eine Grobanalyse für das Einsparpotential und die sich daraus ergebenden notwendigen Einsparmaßnahmen. Die Angebote der jeweiligen Bieter werden nun vom Auftraggeber hinsichtlich der Kostenersparnis, Investitionsversprechen und Maßnahmenplanung bewertet.²⁰ Das beste Angebot wiederum muss wirtschaftlich, durch eine Vollkostenbetrachtung, mit einer Eigenbesorgung der Leistungen verglichen werden. Diese beinhaltet die Betrachtung der Kapital-, Betriebs-, Verbrauchs- und Personalkosten im gesamten Projekt. Ist die Eigenbesorgung nach erfolgtem Vergleich wirtschaftlich günstiger, so wird die Ausschreibung aufgehoben.

Meist bestätigt sich allerdings, dass die Durchführungen der Einsparmaßnahmen mit Hilfe eines Contractors die wirtschaftlichere Variante ist. Im einstufigen Energiespar- Contracting ist der Auftragnehmer nun gezwungen ein Energieeinspar- Garantieverprechen im Vertrag festzusetzen.²¹ Nach der Unterzeichnung des Erfolgsgarantievertrages beginnt nun sofort die Umsetzung der Einsparmaßnahmen und nach deren Beendung automatisch die Hauptleistungsphase des Energiespar- Contractings.

²⁰Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.23

²¹ Vgl. Dipl.-Ing. Seefeldt, Friedrich. *Leitfaden für Energiespar-Contracting*. s.l. : Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2003-05 S.26

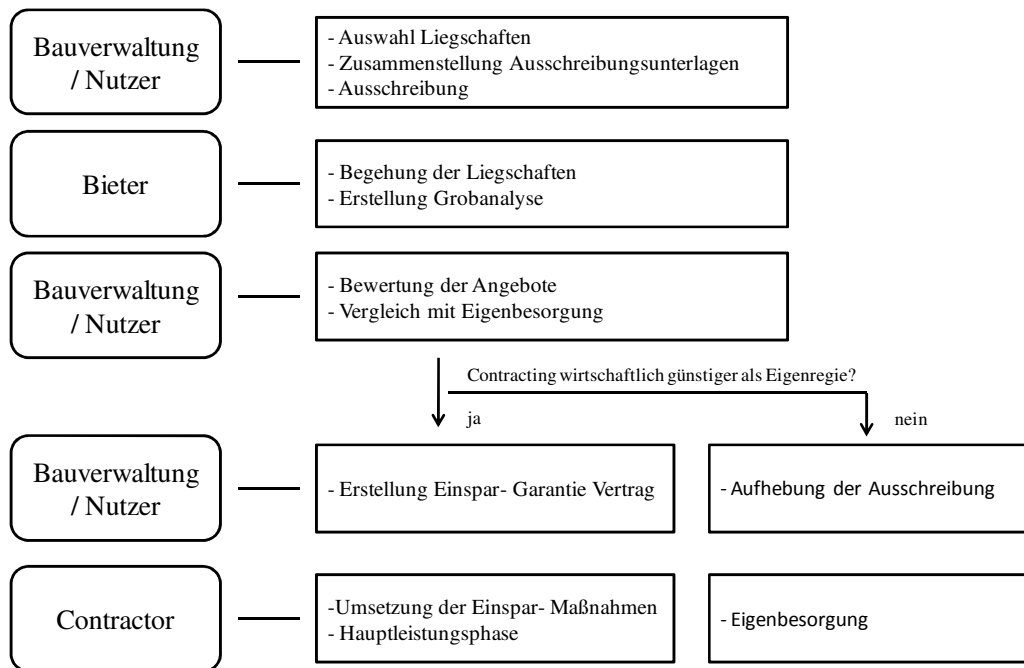


Abbildung 5: Ablauf Grobanalyse

2.5.2 Zweistufiges Energiespar- Contracting

Beim zweistufigen Energiespar- Contracting ist der Verlauf bis zum Ergebnis des Wirtschaftlichkeitsvergleiches bei Eigenbesorgung vollkommen analog zum einstufigen Energiespar- Contracting. Allerdings ist nach der Unterzeichnung des Einspar- Garantievertrages der Auftragnehmer verpflichtet, eine energetische Feinanalyse der betreffenden Liegschaften durchzuführen. Die Feinanalyse stellt eine Detailvalidierung der in der Grobanalyse aufgestellten Energie- und Kosteneinsparungen dar.

Im Projektierungsvertrag ist außerdem eine Ausstiegsklausel enthalten, die den Abbruch des Verfahrens gestattet, falls die Feinanalyse die Untersuchungen der Grobanalyse nicht bestätigen.²² In diesem Fall müssen die Planungskosten nicht vom Auftraggeber vergütet werden. Bei Bestätigung der Grobanalyse können die vorab im Projektierungsvertrag festgesetzten Planungskosten mit der Beteiligung an den Energiekosteneinsparungen verrechnet werden. Falls der Auftraggeber trotz Bestätigung der Grobanalyse plant eine Eigenbesorgung vorzunehmen, sind dem Verfasser der Feinanalyse die Projektierungskosten zu erstatten. Ist die Grobanalyse bestätigt, beginnen die Verhandlungen über die konkreten Vertragsbedingungen des ESC.

²²Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.13

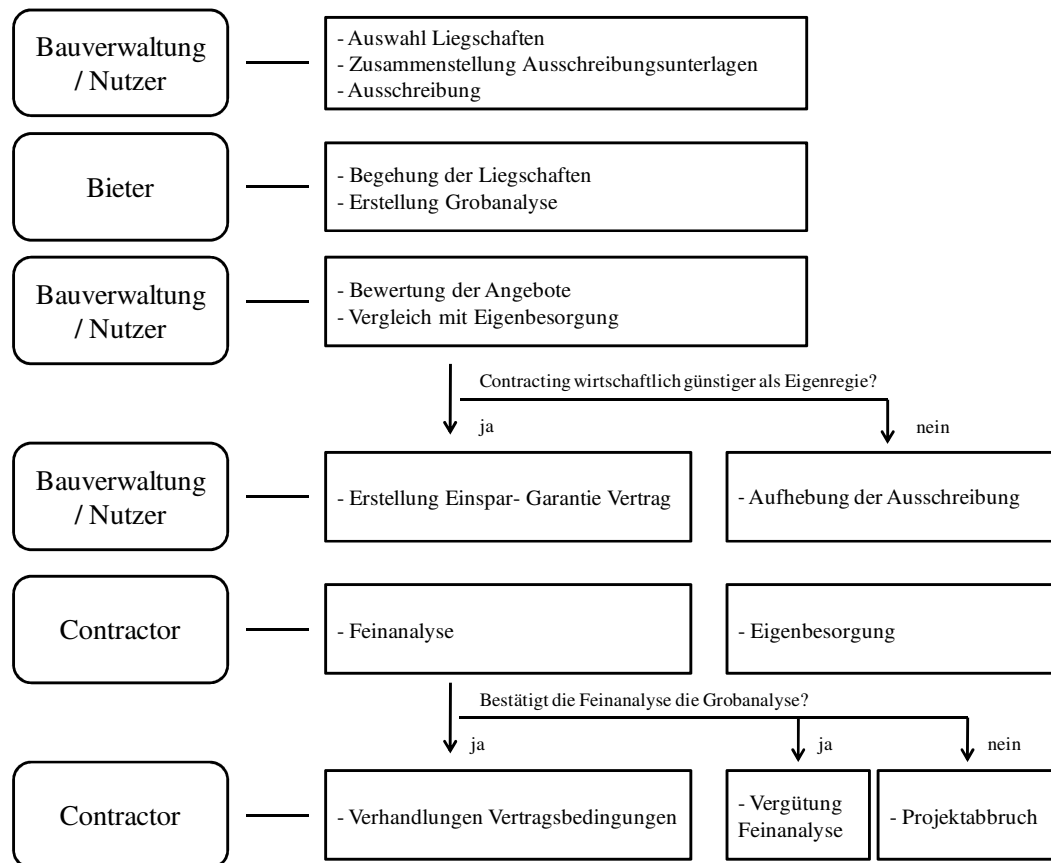


Abbildung 6: Ablauf Feinanalyse

2.5.3 Vergleich der Vorgehensweisen

Wie aus der Darstellung des einstufigen Verfahrens ersichtlich, folgt nach der Grobanalyse die Umsetzung der Maßnahmen. Dies bedeutet, dass sich die zuvor geführten Bieterverhandlungen über die zu erbringenden Maßnahmen und Leistungen im ESC, auf die vom Auftraggeber erfassten Baselinedaten sowie die vom Auftragnehmer erstellten Grobanalyse beziehen. Eine weitere Validierung des Energieeinsparpotentials und der Energieeinsparmaßnahmen erfolgt somit nicht. „Dieses Verfahren eignet sich vor allem für Liegenschaften mit geringer technischer Komplexität wie Schulen und Verwaltungsgebäude.“²³

Im zweistufigen Modell ist durch den Projektierungsvertrag und die damit verbundene Feinanalyse eine detailliertere Planung des ESC möglich. Des Weiteren ist die Feinanalyse ein wichtiges strategisches Instrument um die in der Grobanalyse festgesetzten Energie- und Kosteneinsparungsmaßnahmen noch einmal grundlegend zu analysieren und zu verifizieren.

²³Kompetenzzentrum-Contracting. [Online] dena GmbH, 20. 02 2011. [Zitat vom: 28. 02 2011.] <http://www.kompetenzzentrum-contracting.de>.

Gegebenenfalls lässt sich so auch im Vergleich die Möglichkeit einer Eigenbesorgung durch den Auftraggeber genauer bewerten. Zwar verlängert sich der Vergabezeitraum durch die Erstellung und Überprüfung einer Feinanalyse um bis zu 6 Monate, jedoch verringert sich das Risiko, eklatante Planungsfehler zu begehen, vor allem bei technisch komplexen Liegenschaften.

3 Beschreiben der Anlagentechnik

1985 bis 1992 wurde im Opernhaus Chemnitz der Baukörper sowie der komplette Innenausbau saniert. Seitdem stehen den Besuchern des Opernhauses 714 Sitzplätze im Zuschauerraum zur Verfügung. Zusätzlich zum Vorstellungshaus wurde eine Funktionsgebäude (Magazin) angebaut, in dem auch die Zentrale der Wärme- und Trinkwasserversorgung untergebracht ist. Da die Bauphase in die Zeit der „Wende“ fiel, sind teilweise die Umbauarbeiten noch nach DDR- Standards erfolgt. Nach 1990 ist jedoch, durch die Öffnung der innerdeutschen Grenze, vielfältig neu verfügbare Technik zum Einsatz gekommen.

Das Schauspielhaus Chemnitz wurde 1980 nach einem verheerenden Brand neu ausgebaut. Es bietet nunmehr Platz für 405 Zuschauer. 2003 wurde im großzügig gestalteten Foyer eine kleine Bühne mit 99 Sitzplätzen errichtet.

Bis auf einige technische Erneuerungen im szenischen Bereich entsprechen die technischen Anlagen kaum noch den heutigen Anforderungen. Mängel zeigen sich am Leitungsnetz der Elektroinstallationen sowie nach der energetischen Betrachtung der Gebäudehülle.

Allgemein wird bei der Betrachtung der Kosten für ein Gebäude nach DIN 267²⁴ in folgende Kostengruppen unterschieden

Kostengruppe	Bezeichnung der 1. Ebene
100	Grundstück
200	Herrichten und Erschließen
300	Bauwerk – Baukonstruktion
400	Bauwerk – technische Anlagen
500	Außenanlagen
600	Ausstattung und Kunstwerke
700	Baunebenkosten

Tabelle 1: Kostengliederung nach DIN 267

²⁴DIN 267-1. *Kosten im Bauwesen: Hochbau Teil 1*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2008-12.

Bedingt durch die Komplexität des Themas und dem damit verbundenen Umfang der Betrachtungen kann in dieser Arbeit nur auf Inhalte der Kostengruppe 400 eingegangen werden. Auf etwaige Auswirkungen auf Bestandteile anderer Kostengruppen, z.B. Sicherheitstechnische Lastberechnungen, kann nicht eingegangen werden. Die detaillierte Zusammensetzung der Kostengruppe ist der *Tabelle 2* zu entnehmen.

Kostengruppe 400	Bauwerk – technische Anlagen
410	Abwasser- Wasser-, Gasanlagen
420	Wärmeerzeugungsanlage
430	Lufttechnische- Anlagen
440	Starkstromanlagen
450	Fernmelde- und Informationstechnische- Anlagen
460	Förderungsanlagen
470	Nutzungsspezifische Anlagen
480	Gebäudeautomation
490	sonst. Maßnahmen für technische Anlagen

Tabelle 2: Kostengruppen 267

Im Hinblick auf ein ESC werden in den nachfolgenden Beschreibungen und Auswertungen nur die dafür notwendigen Kostengruppen 410, 420, 430, 440 und 480 vorgenommen.

3.1 Trinkwassertechnische- Anlagen

3.1.1 Allgemeine Erläuterung zur Trinkwassertechnischen- Anlagen

Nach der Art der Versorgung werden anhand der VDI 2067-22 folgende Wasser- Erwärmungssysteme unterschieden:

- *Einzelversorgung*: jede Warmwasser- Entnahmestelle erhält seinen eigenen Trinkwasser- Erwärmer
- *Dezentrale Gruppenversorgung*: räumlich in einem bestimmten Bereich liegende Entnahmestellen werden von einem Trinkwasser- Erwärmer versorgt. Zirkulationsleitungen werden wegen der kurzen Stichleitungen i. d. R. nicht benötigt.

- *Zentralversorgung*: alle Warmwasser- Entnahmestellen eines Gebäudes werden von einem Trinkwasser- Erwärmer versorgt. Damit während langer Entnahmepausen das Rohrnetz nicht auskühlt, werden meist Zirkulationen vorgesehen.²⁵

Um das Trinkwarmwasser auf Temperatur zu bringen, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Erwärmung. Eine der ältesten Methoden ist die Beheizung der Speichererwärmer durch das direkte Verbrennen von Kohle oder Öl. In Neubauten sind solche Anlagen nicht mehr vorgesehen. Elektrowarmwasserspeicher werden dagegen durch Ring- oder Rohrheizkörper beheizt. Das Einsatzgebiet sind vor allem kleine Speicher bis 100 Liter. In Haushalt, Gewerbe und Industrie sind aufgrund ihrer hohen Wirtschaftlichkeit vor allem Gas-Wasser- Erwärmer eingesetzt. Sie können als Durchlauf- oder Speichergeräte in die Installation eingebunden werden. Des Weiteren können Warmwasserspeicher auch durch ein Fernmedium erwärmt werden. (siehe: 3.2.1 Allgemeine Erläuterungen zur Wärmetechnischen- Anlage).

Bei dieser Art der Erwärmung kommen folgende Systeme infrage:

a) *Durchflusswasser- Erwärmer*

Vorteile: kleine Abmessungen, gute Nutzung des Fernmediums und kostengünstig
Nachteil: ungenügende Regelgenauigkeit

b) *Speicherwasser- Erwärmer*

Vorteil: kurze Belastungsspitzen netzseitig werden vermieden
Nachteil: niedrige Auskühlung des Fernmediums

c) *Speicherladesystem*

Vereint die Vorteile von a) und b) und vermeidet deren Nachteile.

Besteht aus einer Zusammenschaltung aus Durchflusswassererwärmer und Speicher über eine Regelung und Speicherladepumpe.²⁶

²⁵Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1687

²⁶Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1706

3.1.2 Beschreibung der Trinkwassertechnischen- Anlage im Opernhaus

Die Trinkwasserversorgung erfolgt für das Vorstellungshaus und den Magazinbau über 2 getrennte Anschlussleistungen vom städtischen Versorgungsnetz. Ein Anschluss in DN 150 wird von der Färberstraße in das Vorstellungshaus und der zweite als Hauptanschluss von der Käthe- Kollwitz- Str. in DN 200 in den Magazinbau eingeführt.

Nach den eingebauten Einrichtungsgegenständen ergeben sich nach TGL 10697/02 (heute DIN 10685/05) folgende Trinkwassermengen.

Vorstellungshaus $V_B = 4,45 \text{ l/s}$

Magazinbau $V_B = 1,38 \text{ l/s}$

Insgesamt $V_B = 5,83 \text{ l/s}$

Der Feuerlöschbedarf wurde damals nach TGL (heute DIN 10685/05) berechnet und betrug $V_B = 12,92 \text{ l/s}$.

Für die zentrale Warmwasserbereitung steht ein Edelstahlspeicher mit 6300 l Inhalt zur Verfügung. Durch die Wärmespeicherung können kurzzeitige Belastungsspitzen, z.B. durch Duschen nach Proben, aufgefangen werden, obwohl durch das Heiznetz selbst eine große Wärmekapazität besitzt. Die Zirkulation für das gesamte Gebäude erfolgt immer im Dauerbetrieb und auf Volllast, um Duschen für Mitarbeiter und Künstler (hauptsächlich Ballett) ständig verfügbar zu halten.

Die Aufheizung erfolgt über den Kreislauf eines separaten Wärmeübertragers mit Ladepumpe. Der separate Wärmeübertrager ist unmittelbar neben dem Edelstahlspeicher angeordnet. Er besteht aus fünf Rohr- in Rohr- Wärmeübertragern der Firma „Apparatebau Straßfurt“, die in Hintereinanderschaltung zusammengebaut sind. Die maximale Wärmeleistung dieses Wärmeübertragers beträgt bei einer Einspeisung vom Sekundärnetz mit konstanter Vorlauftemperatur $+90^\circ\text{C}$ / $Q = 0.21 \text{ MW}$.

Für den Havariefall (Ausfall der Fernwärme) ist eine elektrische Beheizung des Edelstahlspeichers möglich, um die Warmwasserbereitung immer aufrecht zu halten.

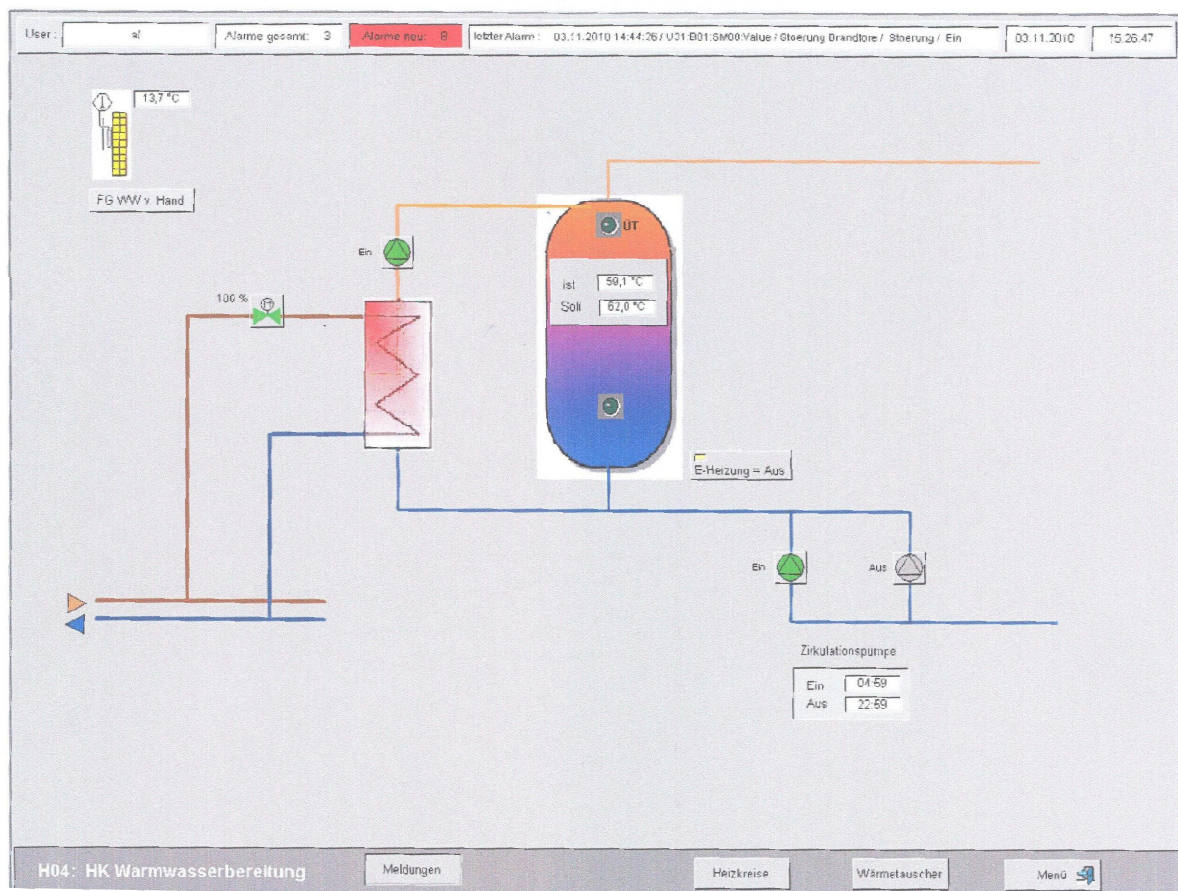


Abbildung 7: Opernhaus Warmwasserspeicher

Insgesamt gibt es im Opernhaus 176 Warmwasserzapfstellen und 275 Kaltwasserzapfstellen, von denen aber nur 24 Mischbatterien (Duschen und Waschbecken) mit einer Kurzzeit- bzw. Bedarfsautomatik ausgestattet sind.

3.1.3 Beschreibung der Trinkwassertechnischen- Anlage Schauspielhaus

Für die zentrale Warmwasserbereitung steht ein 1000 l Speicher zur Verfügung der über 2 Heizregister auf Temperatur gehalten wird und in der Lüfterzentrale untergebracht ist. Von den 69 Warmwasser- und 128 Kaltwasserzapfstellen im Schauspielhaus ist keine mit einer automatischen Mischbatterie ausgestattet.

3.2 Wärmetechnischen- Anlage

3.2.1 Allgemeine Erläuterungen zur Wärmetechnischen- Anlage

Opernhaus und Schauspielhaus werden beide durch Fernwärme mit Heißwasser beliefert. Bei dieser Art der Energieversorgung wird das Warmwasser an zentraler Stelle erwärmt (z.B. Heizkraftwerk) und in Rohrleitungsnetzen dem Verbraucher zugeführt.

Eine Fernwärmeversorgung besteht aus folgenden Komponenten:

Wärmeerzeuger: Heizkraftwerk

Fernwärme- Rohrnetz: führt das Heißwasser an die Hausanlagen

Übergabestation: das Heißwasser wird an die Hausanlage übergeben

Hauswärme- Rohrnetz: führt das Heißwasser in die Heizkreise/ Verbraucher²⁷

Die Vorteile der Heißwasserfernwärme liegen vor allem in den großen Betriebssicherheit, Möglichkeit der zentralen Regelung durch den Wärmeerzeuger, keine Kondensatwirtschaft und in den geringen Wärmeverlusten. Zusätzliche Vorteile ergeben sich vor allem durch den Wegfall des Brennstofftransportes und dessen Lagerung.

Dabei wird zwischen *direkter* und *indirekter* Anschlussart unterschieden. Ein *direkter* Anschluss, bei dem das Heißwasser unmittelbar in die Rohrleitungen der Hausanlage übergeben wird, ist die Preiswertere Variante.

Bei einem *indirektem* Anschluss werden Wärmetauscher zwischen das Fernwärme- und Hauswärmenetz zwischengeschaltet um eine Energieübertragung zu realisieren, was mit einem höherem Investitionsaufwand verbunden ist. Als vorteilhaft ist allerdings die vollständige Abkopplung der Hausanlage vom Netz und dessen Druckschwankungen und Leckagen zu bewerten.²⁸

Je nachdem welche Anschlussart im Objekt gegeben ist, müssen dementsprechend verschiedene Ausführungen der DIN 4747-1:2003-11 Sicherheitsvorschriften, in Bezug auf Bauart und Absicherung gegen das Überschreiten der zulässigen Temperaturen und des Druckes beachtet werden.

²⁷ Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.624

²⁸ Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.626

3.2.2 Wärmeversorgung im Opernhaus

3.2.2.1 Beschreibung der Wärmetechnischen- Anlage im Opernhaus

Die gesamte Wärmeversorgung des Vorstellungshauses und des Magazinbaues erfolgt von der Heizzentrale, die im Magazinbau eingeordnet ist, aus.

Diese Heizungszentrale hat eine Grundfläche von ca. 20 m². Sie ist flächenmäßig so ausgelegt, dass von ihr auch die spätere Versorgung der Erweiterung zum Funktionsgebäude mit abgedeckt werden kann. Die Wärmeversorgung erfolgt vom Fernwärmenetz Chemnitz durch ein Leitungspaar in 2 x DN 150. Innerhalb der U- Station erfolgt die Weiterführung des Leitungspaares bis zu den Absperrschiebern im Kanal.

Die Primärparameter des Fernwärmenetzes sind für den Standort wie folgt:

Vorlauftemperatur Winter	t_v 145°C
Vorlauftemperatur Sommer	t_v 125°C
Rücklauftemperatur	t_R 65°C
Ruhedruck	p 20,0 bar
Bereitgestellte Leistung	P 850 kW

Die U-Station ist so aufgebaut, dass in ihr zwei Wärmeübertrager, eine gemeinsame Differenzdruck- und Mengengbegrenzung sowie eine Wärmemengenmesseinrichtung, ein sekundärer Vorlaufverteiler und zwei Beimischstationen für die gleitenden Heizkreise, eine automatische Nachspeisestation, ein Gebrauchswarmwasserspeicher mit separatem Wärmeübertrager und Ladepumpe, eine Kaltwasserzähleinrichtung, Kaltwasser-, Warmwasser und Zirkulationsverteiler mit zwei Zirkulationspumpen und die erforderlichen Absperr- und Regelarmaturen zum Einbau kommen. Das sekundäre Heiznetz wird in gleitender Fahrweise mit 90 – 55°C betrieben. Durch die unterschiedliche Nutzungsart werden vom Verteiler getrennte Verteilungsleitungen zu den Verbrauchern Lüftung, Warmwasserbeheizung und Beimischstationen geführt. Auch die Beimischstationen sind für die örtliche Gebäudeheizung ausgelegt und werden witterungstemperaturbedingt in gleitender Fahrweise mit 90 – 55°C gefahren.

Als Heizfläche kommen ausschließlich Plattenheizkörper zum Einsatz. Diese sind mit oder ohne Konvektionsblech in ein- und zweireihiger Ausführung ausgestattet. Jeder Heizkörper ist

im Vorlauf durch ein thermostatgesteuertes HK- Regulierventil mit dem Rohrnetz verbunden. Bei Räumen mit zwei oder mehr Einzelheizflächen ist jede zweite Heizfläche mit einem thermostatgesteuerten und die übrigen mit einem handgeregelten Heizkörperventil ausgerüstet.

Die Steuerung erfolgt durch das in der GLT- Zentrale aufgestellte System PCD2 der Firma „Saia-Burgess Controls Deutschland“.

3.2.2.2 Arbeitsweise der Wärmetechnischen- Anlage im Opernhaus

Durch die hohen Druckstufen im Fernwärmenetz von PN25 ist ein direkter Anschluss durch eine Heizanlagenstation nicht möglich, da diese nur bis zu einem Druck von PN 6/10 und teilweise PN4 zugelassen sind. Aus diesem Grund erfolgt ein indirekter Anschluss über zwei Wärmeübertrager, die als Bindeglied zwischen dem Fernwärmenetz und der sekundären Abnehmeranlage eingesetzt werden. Die beiden Wärmeübertrager mit einer Gesamtwärmeleistung von 2x 1,8 MW sind für den Endausbau ausgelegt. Für die derzeit benötigte Wärmemenge braucht nur einer der Wärmeübertrager betrieben zu werden. Der zweite Wärmeübertrager dient zur Reserve. Bei einem Endausbau zum Funktionsgebäude müssen jedoch beide Wärmetauscher gleichzeitig betrieben werden.

Nur die beiden Doppelpumpen im Sekundärnetz, die Beimischstation für Magazinanbau und die Wärmemengenmessenrichtung im Primärrücklauf sind nicht für den erweiterten Endausbau ausgelegt.

Zur Regelung der Sekundär- Vorlauftemperatur dient ein Regelventil DN 65, welches im gemeinsamen Primärvorlauf eingebaut ist.

Zur Abrechnung der abgenommenen Wärmeenergie ist, nach dem Differenzdruck- und den Mengenbegrenzungsventil, ein Woltmanzähler mit Wärmemengenmessenrichtung angeordnet. Nach dem Wärmeübertrager ist abnehmerseitig eine Warmwasser- Pumpenheizungsanlage mit 90 – 55°C nachgeschaltet.

Von ihr werden über getrennt absperrbare Anschlussventile die Lüftungsanlagen des Vorstellungshauses, die zentrale Gebrauchswarmwasserbereitung und die beiden Beimischstationen der Gebäudeheizung angespeist. Durch die stark schwankende Wärmeabnahme, hervorgerufen durch die unregelmäßige Entnahme der Warmwasserbereitung, den unterschiedlichen Be-

triebszeiten, der Lüftungsanlage und durch die gleitenden Wärmeabnahme der beiden Beimischstationen der Gebäudeheizung ist eine Mengenermittlung erforderlich, die durch den Einsatz einer „GRUNDFOS Drehzahlsteuerung Delta Control MF“ und einer Doppelpumpe mit geregelter Grundlast realisiert wird. Eine zweite Doppelpumpe dient zur Reserve. Beide Pumpen haben eine Förderleistung von $V = 42 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Förderhöhe von $H = 17 \text{ mWS}$.

Die Beimischstationen sind getrennt nach Vorstellungshaus und Magazinbau ebenfalls in $90 - 55^\circ\text{C}$ ausgelegt. Ihre getrennte Fahrweise kann mit der unterschiedlichen Bauausführung zwischen Vorstellungshaus und Magazinbau begründet werden.

Die sekundäre Abnehmeranlage ist als geschlossene Anlage mit einer Druckhaltung ausgebildet. Dazu dient die Otto- Druckhaltestation DSK-E-Plus. Zur Enthärtung des Sekundärheizwassers, welches in der Regel zur Füllung bzw. Nachspeisung vom Trinkwassernetz entnommen wird, sind ein KIA 02-634- Dosierapparat und ein Probeentnahmekühler vorgesehen. Mit Hilfe eines Kesselwasser- Untersuchungskastens kann die Härte und der Natriumgehalt des Heizwassers vom Bedienpersonal festgestellt werden.

Denn wenn die Grenzwerte nach VDI 2035 abweichen, reduziert sich die Lebensdauer der Umformer und nachgeschalteter Anlagenteile. Das Vorstellungshaus ist des Weiteren in sechs einzelne, durch Magnetschaltventile regelbare Heizkreise unterteilt:

- HK1 - Foyer
- HK2 - Südflügel
- HK3 - Bereich Ballett
- HK4 - Orchesterproberaum
- HK5 - Erdgeschoss + Bühnenbereiche
- HK5 - Garderoben

Die Vorlaufheizkreise reichen weiter bis zu den Heizregistern der Klimaanlage im Vorstellungshaus.

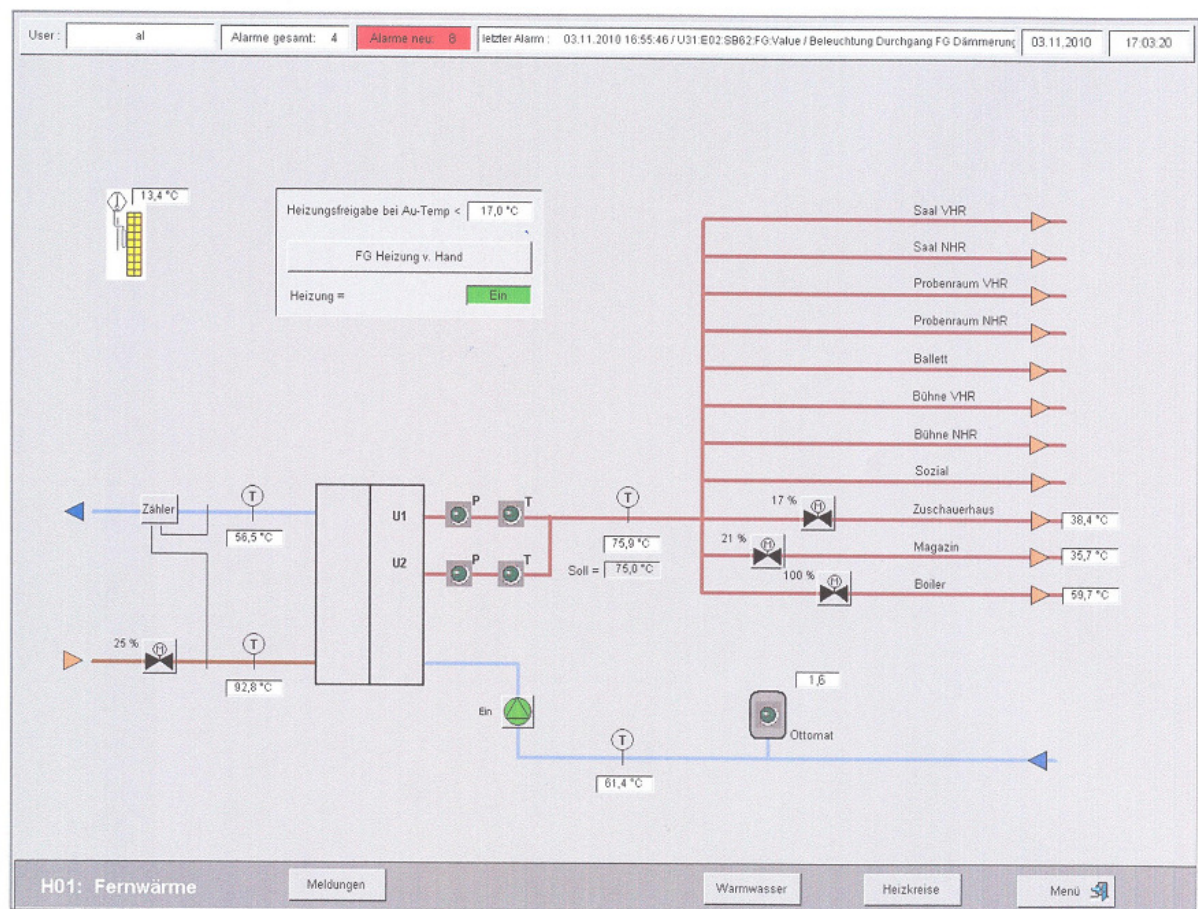


Abbildung 8: Oper Verteilung Heizkreise

3.2.2.3 Beschreiben der Kältetechnischen- Anlage im Opernhaus

Auch die Kälteversorgung, mit einer bereitgestellten Höchstlast von 180 kW bei einer zugehörigen Trasseneinspeisemenge von 19,3 m³/h, ist im Opernhaus über die stadtweit verfügbare Fernkälte eingebunden. Das Fernkältenetz wird Außentemperaturabhängig mit Vorlauftemperaturen zwischen 5°C und 10°C gefahren. Die Übergabestelle des Kaltwassers ist direkt im Lüftungskeller des Vorstellungshauses, um das Hauskälte-Rohrnetz zu den Klimageräten möglichst kurz zu halten.

Im Hausnetz erfolgt eine bedarfsabhängige Vorlaufregelung, sodass Vorlauftemperaturen von ca. 5 bis 12 °C für die Kühlregister der Klimaanlage und dezentralen Klimatruhen verfügbar sind. Während die Klimatruhen für die technischen Einrichtungen, für szenische Beleuchtung und Tonstudio selbständig den Bedarf steuern können, werden für die Lufttechnischen- Klimaanlage Kälteanforderungen nur kurzzeitig wirksam, dann aber meist mit voller Kapazität.

Die folgende Anlagen sind mit Kälteregeistern ausgestattet:

- Lüftung Saal
- Lüftung Bühne
- Lüftung Ballett
- Lüftung Orchester sowie,
- vier Klimatruhen Tonregie und
- drei Klimatruhen Lichtstellwarte.

Die Rücklauftemperatur sollte dabei minimal 13°C betragen.

3.2.3 Wärmeversorgung im Schauspielhaus

3.2.3.1 Beschreibung der Wärmetechnischen- Anlage im Schauspielhaus

Die Versorgung der Wärmetechnischen- Anlagen im Schauspielhaus erfolgt durch eine indirekte Fernwärmeeinspeisung durch das Objekt „ASB Altenpflegeheim, Rembrandtstraße 15“. Die Übergabestation der Einspeismenge von 19,8 m³/h bei 919kW zum Schauspielhaus ist der Wärmemengenzähler im Objekt selbst.

Der Lieferdruck von 6,0 bar ermöglicht es, die Fernwärme direkt zur Raumheizung und Wassererwärmung, ohne Wärmetauscher, wie folgt ins Netz einzuspeisen:

Vorlauftemperatur Winter	$t_v = 105^{\circ}\text{C}$
Rücklauftemperatur	$t_R = 55^{\circ}\text{C}$
Ruhedruck	$p = 6 \text{ bar}$

Dabei können die Temperaturen in gleitender Fahrweise von 90 – 55°C gefahren werden.

Das Wärmenetz des Schauspielhauses ist in vier Heizkreise unterteilt:

- HK1 - Garderobenfoyer + Westfoyer mit Fluren + Treppenhaus
- HK 2 - Hauptfoyer mit Nebenräumen und Fluren + Treppenhaus
- HK 3 - Bühnenhaus
- HK 4 - Magazingebäude, Garderobentrakt, Nordanbau und Theatercafé

Die den einzelnen Heizkreisen zugeordneten Pumpen sind in Dimensionierungen von

HK1 - 100W

HK2 - 250W

HK3 - 250W

HK4 - 400W

eingebaut und werden zentral von einem „Heizungs- und Fernheizungsregler „TROVIS EB 5576“ stufenlos gesteuert.

3.2.3.2 Beschreiben der Kältetechnischen- Anlage im Schauspielhaus

Die Kälteanlage besteht aus der Kältemaschine „ARMEC NR2027“, welche auf dem Dach platziert ist, dem Pufferspeicher mit Ladepumpe „ARMEC SAP7“ (400 l) sowie dem Kälteventil an der Lüftungsanlage. Die Anlage hat eine elektrische Anschlussleistung von 14,7 kW sowie eine effektive Kälteleistung von 36,5 kW. Die Kältemaschine kühlt das im Pufferspeicher sowie in den Leitungen befindliche Medium auf rund 4°C herunter. Das so herunter gekühlte Medium wird, mengenmäßig durch das Ventil einstellbar, an die einzelnen Verbraucher geleitet und dient zur Kälteversorgung für die Lüftungstechnischen- Anlage. Für das Zirkulieren des Kältemediums zwischen Kältemaschine, Pufferspeicher und Lüftungsanlage ist die Kältepumpe zuständig, welche parallel zur Kühlanforderung der Anlage geschaltet ist.

Die Kühlung versorgt die Anlagen:

- Saal
- kleine Bühne
- Tonstudio
- Lichtstellwarte
- Elektrobetriebsraum

3.3 Raumluftechnische- Anlagen

Allgemeingültige Regelwerke zu Raumluftechnischen- Anlagen sind:

- DIN 1946-2
- DIN EN 13779
- AMEV- RLT Anlagenbau

3.3.1 Allgemeine Erläuterung zu Raumluftechnischen- Anlagen

Da die Räume der Städtischen Theater Chemnitz aufgrund der komplexen Bauweise nicht ausreichend bzw. störungsfrei durch Fensterlüftung be- und entlüftet werden können, wurden Raumluftechnische- Anlagen installiert. Die Raumluftechnik gliedert sich neben der Prozessluftechnik in die Lufttechnik ein. Bei der Prozessluftechnik wird schwerpunktmäßig die Luft zur Durchführung eines technischen Prozesses innerhalb von Apparaturen bearbeitet. Raumluftechnische- Anlagen, als Gliederungspunkt der Raumluftechnik, transportieren die Luft maschinell z.B. durch Ventilatoren. Dagegen erfolgt bei freien Lüftungssystemen der Lufttransport nur durch die windbedingten Druckunterschiede und durch Differenzen der Innen- und Außentemperatur.²⁹

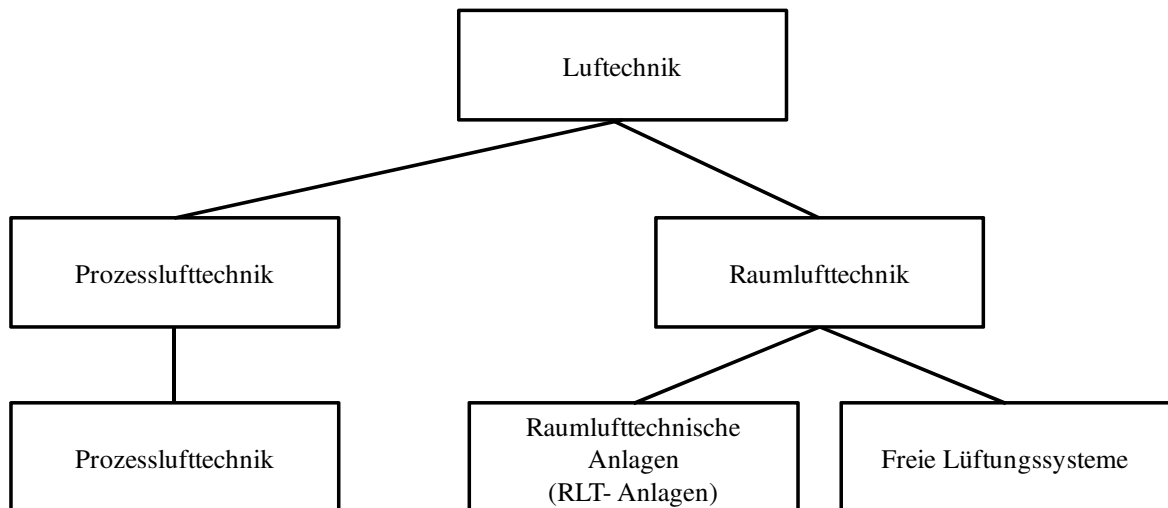


Abbildung 9: Einteilung der Lufttechnik³⁰

Der Schwerpunkt des Lüftungskonzeptes der RLT- Anlage lag eindeutig auf der Errichtung einer Komfortanlage / Humanklimaanlage. Diese Anlagen sind auf Erhalten eines behaglichen Raumklimas im Sommer wie im Winter ausgelegt, um eine größtmögliche Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter zu gewährleisten und Ausfälle infolge von Krankheit oder Unfall zu mindern. Negative Einflüsse auf die Behaglichkeit können in diesem Zusammenhang durch äußere und innere Lasten wirken:

²⁹Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrie-Verlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1098

³⁰Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrie-Verlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1098

- Wärmentwicklung durch Personen, Beleuchtung, Maschinen;
- Feuchteentwicklung durch Transpiration oder offene Wasserflächen;
- Freisetzung von Staub, Gerüchen, Schadstoffen.³¹

Je nach den gestellten Anforderungen an das Raumklima müssen eine oder mehrere der folgenden Aufgaben erfüllt werden:

- Außenluftversorgung;
- Abfuhr von thermischen Lasten;
- Abfuhr von Feuchtlasten³²

Um die Mindestqualität der Raumluft sicherzustellen sind die Mindestwerte nach DIN 1946 und den Arbeitsstättenrichtlinien (ASR) zu beachten.

3.3.2 Raumlufthtechnische- Anlagen im Opernhaus

3.3.2.1 Übersicht der Raumlufthtechnischen- Anlagen im Opernhaus

Um den spezifischen Anforderungen der einzelnen Abteilungen sowie dem Zuschauerkomfort gerecht zu werden, wurde die RLT - Anlage des Opernhaus Chemnitz in 6 einzeln regelbare Anlagen unterteilt, in denen der Zustand der Raumluft hinsichtlich Reinheit, Temperatur und Feuchte innerhalb eines vorbestimmten Rahmens gehalten werden kann.

Anlage 1 – Zuschauerraum, Foyer, Eingang, Orchestergraben

Anlage 2 – Orchesterproberaum

Anlage 3 – Ballettsaal

Anlage 4 – Bühne

Anlage 5 – Batterieraum

Anlage 6 – Sanitär- und Nebenräume

Dabei gelten nach DIN EN 12792 folgende Definitionen:

Zuluft ist die dem Raum zugeführte Luft.

Abluft ist die aus dem Raum abströmende Luft

³¹Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1107

³²Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1097

Außenluft ist die aus dem Freien angesaugte Luft

Umluft ist der Teil der Abluft, der dem Raum wieder zugeführt wird.

Fortluft ist die ins Freie geblasene Abluft.

Mischluft ist die Mischung von Außenluft und Umluft.³³

Die für die Anlagen 1 – 4 eingesetzten Geräte sind vom Hersteller „MAFA Halle“ mit der Typkennzeichnung „KB22“. Die Geräte sind zentral im Klimakeller aufgestellt. Dabei erhält jede der Anlagen 1 – 4 ihre Außenluft aus der Frischluftzentrale des Vorstellungshauses, wogegen die Abluftgeräte dezentral verteilt sind. Diese Anlagen sind ausgeglichene, ventilatorgestützte Lüftungen, bei der Abluft- und Zuluftvolumenströme nicht nur den gleichen Auslegungswert besitzen, sondern auch zeit- und lastabhängig angepasst werden können.³⁴

Für die Anlage 5, bestehend aus dem Verbund zwischen Batterieraum und den drei Elektrizitätsräumen, ist ein einfaches Abluftsystem verbaut. Hierbei wird die Abluft ventilatorgestützt abgeführt, die Zuluft strömt als unbehandelte Außenluft über Druckunterschiede in die Gebäudehülle.³⁵

Anlage 6 ist dagegen ein Klimagerät des Herstellers „LTA Berlin“ vom Typ „LRMN 314/4“, wobei die bedienten Räume direkt über Lüftungsschächte, Außenluftdurchlässe oder über eine ventilatorgestützte Lüftung verfügen.³⁶

Die zugehörigen Fortluftdurchlässe für die Anlagen sind auf den Dächern des Opernhauses verteilt.

Alle Ventilatoren werden durch Asynchronmotoren betrieben. Eine Steuerung anhand der Drehzahlen ist ohne Verluste beim Drehmoment somit nicht möglich.

Die direkte Frischluftzufuhr des Foyers, der Kassen und der Gardaroben wird über einen Zuluftventilator mit nachgeschaltetem Erhitzer gewährleistet. Da hier die Anforderungen an die Temperatur- und Feuchtebehandlung deutlich geringer als z.B. im Zuschauerbereich sind, konnte sich einer einfachen Frischlufterhitzung bedient werden.

Die Abluft des Foyers und der daran anschließenden Bereiche wird über eine Ablüfteranlage E 1.6 mit 2,2 kW und vier Ablüfter, E 1.7 / E 1.8 / E 1.9 / E 1.10, mit je 0,55 kW geregelt.

³³Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrie-Verlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1101

³⁴Vgl. DIN 1946-6:2009-05 S.9 / 3.1.5

³⁵Vgl. DIN 1946-6:2009-05 S.9 / 3.1.2

³⁶Vgl. DIN 1946-6:2009-05 S.9 / 3.1.1

Gesteuert wird der Verbund der Anlagen 1, 2, 3,4, 6 sowie die Abluftanlagen mit dem DESIGOTM INSIGHT System der Firma Siemens. Es ermöglicht die genaue Steuerung der Temperatur und Feuchtigkeit in den einzelnen Räumen. Auf spezifische Änderungen im System lässt sich durch die freie Programmierbarkeit aller Variablen gut und schnell reagieren. Die Rückkopplung zum DESIGOTM Programm erfolgt dabei über in den Räumen verteilte Temperatur- und Feuchtefühler die beständig die aktuellen Temperaturen wiedergeben. Des Weiteren ist eine Überwachung aller in den Lüftungsanlagen verbauten Brandschutzklappen integriert.

3.3.2.2 Beschreibung der Raumluftechnischen- Anlagen im Opernhaus

Anlage 1 (E1.1)

Die für den Zuschauerraum, Foyer, Eingang und Orchestergraben zuständige Anlage 1 kann maximal mit einem Außenluft-Volumenstrom von 22.000 m³/h gefahren werden. Die durch den Zuluftventilator angesaugte Außenluft kann ggf. in einer Mischkammer mit einem Umluft- Volumenstrom von 10.000 m³/h zu Mischluft gemischt werden. Der Außenluftanteil beträgt dann entsprechend der Maximalleistung des Ventilators nur noch 12.000 m³/h. Die Luftmengensteuerung lässt sich zweistufig regeln, dementsprechend werden die Volumenströme halbiert.

In der Klimaanlage wird die Zuluft je nach Anforderung in folgenden Komponenten weiterbehandelt:

- (1) in einem Vorerhitzer wird die Zuluft, mit Hilfe der Fernwärme, erwärmt;
- (2) im nachfolgenden Kühler wird das durch die Fernkälte bereitgestellte Kaltwasser durch die Kühlrippen geleitet um die Luft abzukühlen und ggf. zu entfeuchten;
- (3) und durch den adiabatenDüsenbefeuchter mit Umlaufwasser bis zum gewünschten Sättigungsgrad befeuchtet. Durch die Entfeuchtung im Kühler und die damit einhergehende Temperaturabsenkung kann es notwendig sein, die Luft anschließend
- (4) in einem Nacherhitzer zu erwärmen um den geforderten Temperatur- und Feuchtesollwert zu erreichen.

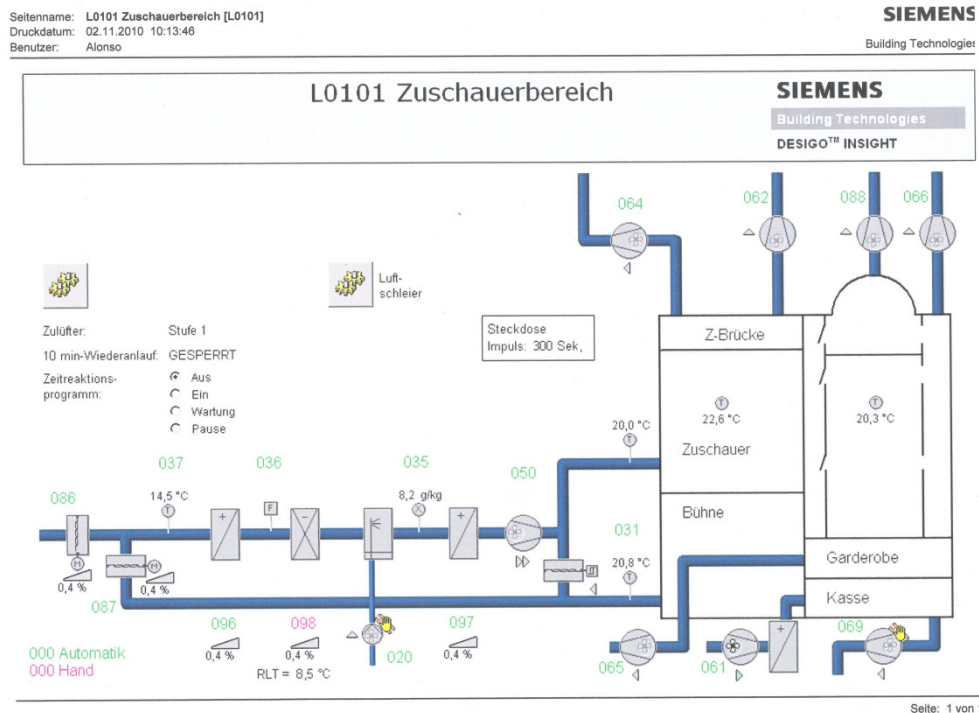


Abbildung 10: Raumluft Zuschauerbereich

Zusammengenommen hat die Anlage 1 eine Heizleistung von 312,23 kW und eine Kühlleistung von 134,47 kW, wobei automatisch eine Absenkung der Zulufttemperatur vorgenommen wird sobald die Zuschauerraumtemperatur über 22°C steigt. Die temperatur- und feuchtebehandelte Luft wird nach dem Ventilator mit einem Anteil von 2x 1500 m³/h dem Orchestergraben zugeführt. Da über Zuluftanlagen kein Rauch in das Gebäude übertragen werden darf, sind vor allen Zugängen zu den Räumen, entsprechend einer Schottlösung, Brandschutzklappen installiert.

Der Zuschauerraum wird durch in der Rückenlehne der Zuschauersätze integrierten Quelldurchlässe mit den verbleibenden 19.000 m³/h klimatisiert.

Um auf planbare veränderliche Anforderungen wie den Wechsel von Vorstellungen- in den Pausenbetrieb zu reagieren, stehen fünf Betriebsregime zur Auswahl:

- Vorstellungsbetrieb mit $t_A > 0^\circ\text{C}$
- Vorstellungsbetrieb mit $t_A < 0^\circ\text{C}$
- Pausenbetrieb mit $t_A > 0^\circ\text{C}$
- Pausenbetrieb mit $t_A < 0^\circ\text{C}$
- Aufheizung ohne Zuschauer mit $t_A -15^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}$

Unter der Bühne wird durch einen Schacht ggf. die Luft des Zuschauerraums dem System wieder als Umluft zugeführt. Über der Z-Brücke sind zwei Abluftanlagen mit einer Leistung von je 2,20 kW und einem maximalen Volumenstrom von 11.000 m³/h installiert. Die Anlagen E 1.4 leitet die Abluft direkt über das Dach nach außen, Anlage E 1.3 führt die klimatisierte Luft des Zuschauerraums zur weiteren Nutzung in das Foyer.

Anlage 2 (E2.1)

Der Orchesterproberaum wird durch die Anlage 1 raumlufttechnisch klimatisiert. Bei dem maximalen Zuluft Volumenstrom von 5400 m³/h beträgt der Anteil der Frischluft 2500 m³/h. Temperatur- und Feuchteregelung erfolgen analog zur Anlage 1. Es ergibt sich eine Heizleistung von 69,90 kW und eine Kühlleistung von 30,11 kW.

Anlage 3 (E3.1)

Im Ballettsaal kann die Außenlufrate von 35 m³/h auf 70 m³/h pro Person angehoben werden um gesteigerte körperliche Anstrengungen der Tänzer zu kompensieren. Dabei wird der Außenluftstrom von 1050 m³/h auf 2100 m³/h verdoppelt. Diese Außenluft wird teilweise mit der Abluft des Ballettsaales vermischt. Bedingt durch die Anforderung ist nur eine Teilklimaanlage mit zwei thermodynamischen Behandlungsfunktionen installiert. Es besteht die Möglichkeit die Zuluft zu erhitzen oder zu kühlen. Die erforderliche Heizleistung liegt bei 79,22 kW und die Kühlleistung bei 34,12 kW.

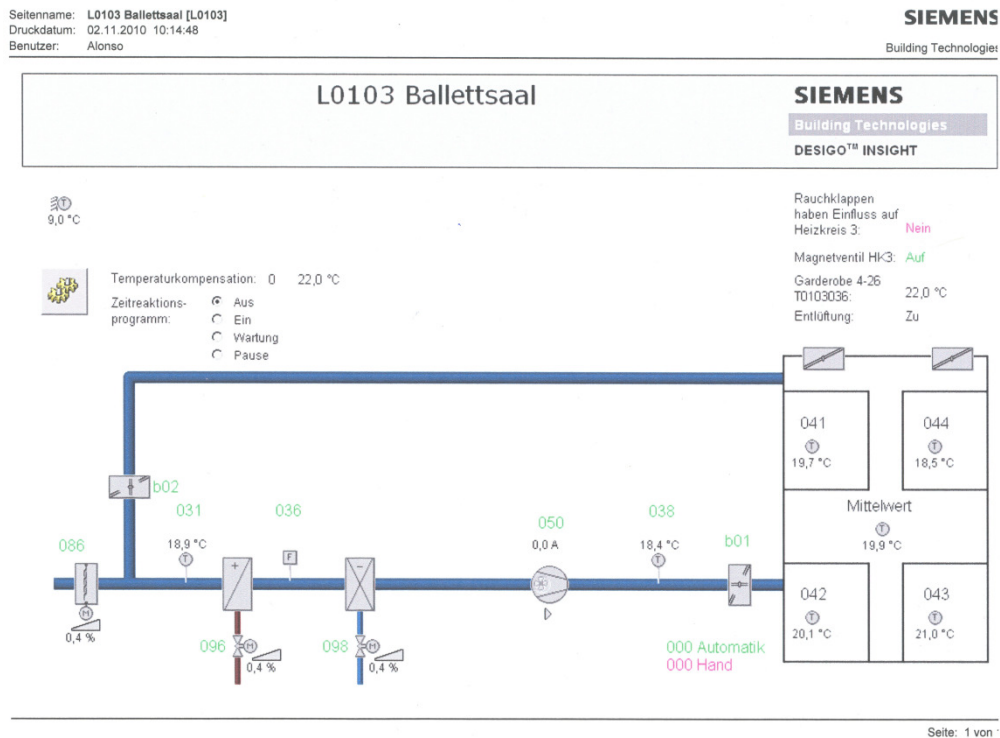


Abbildung 11: Raumluft Ballettsaal

Anlage4 (E4.1)

Die Klimaanlage der Bühne ermöglicht es, alle Volumenströme im Kreislauf zweistufig zu fahren. Der Außenluftanteil beträgt entweder 750 m³/h oder 1500m³/h und der Umluftanteil dementsprechend 2250 m³/h oder 4500 m³/h. Temperatur- und Feuchterege- lung erfolgen wie- der analog zur Anlage 1. Um die Zuluftmenge von 3000 m³/h bzw. 6000 m³/h trotz des Büh- nentors gleichmäßig über die Bühne zu verteilen, erfolgt die Einspeisung links und rechts vom Portal. Vor den Zuluftdurchlässen sind Klappen verbaut, durch die sich steuern lässt, aus welcher Richtung die klimatisierte Luft einströmt. Die ermittelte Heizleistung liegt bei 79,22 kW und die Kühlleistung bei 34,12 kW. Die Abluft wird wie auch in Anlage 1 unter der Büh- ne abgesaugt und als Umluftanteil der Außenluft beigemischt.

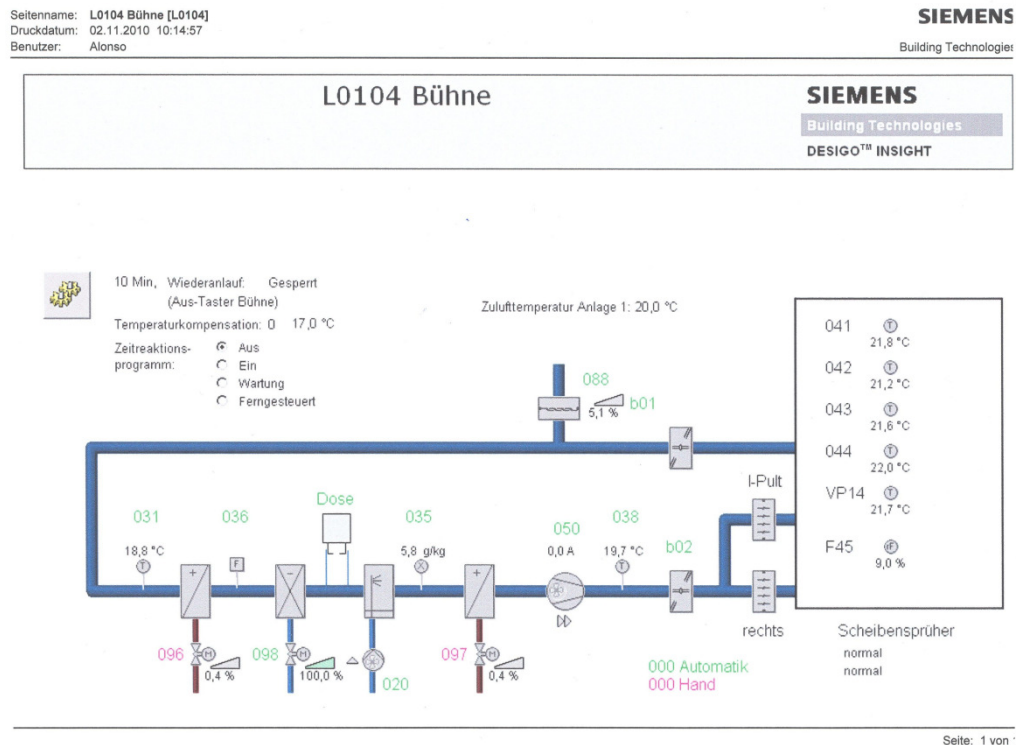


Abbildung 12: Raumluft Bühne

Anlage 5 (E5)

In die Steuerung der Anlage 5 sind folgende Räume integriert:

- Batterieraum (E5.1)
- Hauptverteilung, Mittelspannung und NS- Hauptverteilung (E5.2)
- Thyristorraum (E5.3)
- Kältemaschinenraum (E5.4)
- Lichtstellwarte (E5.5)

Im Batterieraum ist ein Abluftventilator installiert, der mit 540 m³/h die Luft absaugt.

Den Hauptverteilungs-, Mittelspannungs- und NS- Hauptverteilungsräumen wird eine Gesamtluftmenge von 6600 m³/h zugeführt. Im Detail entspricht das, analog zur Aufzählung, einer Verteilung von 1450 m³/h, 1450 m³/h und 3700 m³/h. Eine Absaugung erfolgt nur im Mittelspannungsraum mit 2900 m³/h und im NS – Hauptverteilungsraum mit 3700 m³/h.

Die dem Thyristorraum zugeführte Zuluft mit einem Volumenstrom von 1800 m³/h ist gleichzeitig die abgesaugte, temperaturreduzierte Abluft des Kälteraumes.

In der Lichtstellwarte muss von den 800m³/h der Luftumwälzung nur ein geringer Außenluftanteil von 100 m³/h zugeführt werden. Dieser ist auf die geringe Besetzung von zwei bis maximal drei Personen mit einer Außenlufttrate von 25 m³/h zurückzuführen.

Die Räume der Anlage 5 sind mit keinem Schaltbild im DESIGOTM Programm vertreten, da diese Räume keinen großen Schwankungen, verursacht durch Personen, unterworfen sind.

Anlage 6 (E6.1)

Die Lüftungsanlage der Sanitär und Sozialräume erhitzt die Außenluft und verteilt sie mit einem Volumenstrom von 3.450 m³/h in die 38 entsprechenden Räume der Geschosse. Der Zuluftanteil beträgt hierbei 100 Prozent. Da die erwärmte Zuluft durch die Entfernungen zu den einzelnen Räumen bisweilen großen Strecken zurücklegt, ist die Vorlauftemperatur mit 26°C deutlich höher als die geforderte Zulufttemperatur von 22°C.

Für die Absaugung der Abluft sind zwei Ventilatoren mit je 1,56 m³/h und 2,5 kW zuständig. Die WC-Räume 017, 019, 034, 040, 042 und 050 sind dagegen mit separaten Ablüftern ausgestattet.

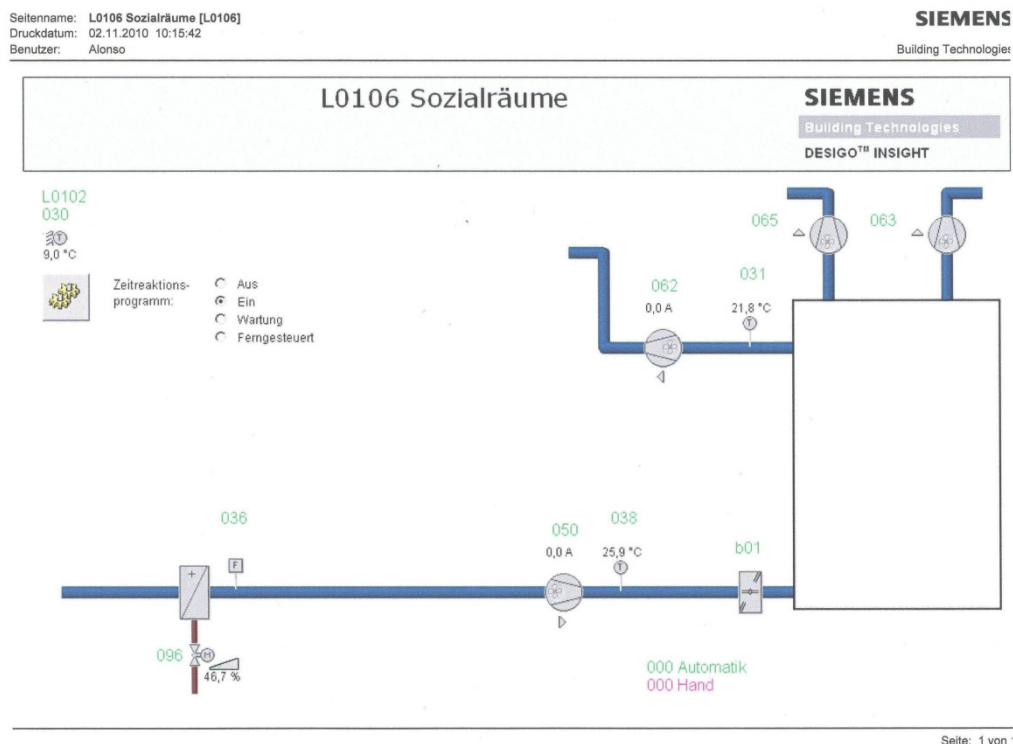


Abbildung 13: Raumluft Sozialräume

3.3.3 Raumluftechnische- Anlagen im Schauspielhaus

3.3.3.1 Übersicht der Raumluftechnischen- Anlagen

Analog zum Opernhaus ist auch das Schauspielhaus in unterschiedliche Anlagenbereiche unterteilt:

Anlage 1 - Zuschauerraum

Anlage 2 - Foyer und kleine Bühne

Anlage 3 - Tonstellwarte

Anlage 4 - Lichtstellwarte

Die Lüftungsanlagen für den Zuschauerbereich, das Foyer und die kleine Bühne sind im zentralen Lüftungsraum platziert. Es sind zwei Geräte des Typs „KB 25“ vom Hersteller „Mafa Halle“. Das Gerät für den Zuschauerbereich wurde 1997 und das zweite 2003 installiert. Das Gerät der Ton- und Lichtstellwarte ist seit 1999 im Schauspielhaus eingebaut. Für den Zuschauerraum arbeitet eine eigene „Mafa“ Anlage, Foyer und kleine Bühne teilen sich die zweite Zuluftanlage. Alle drei lassen sich jedoch getrennt regeln, bzw. verfügen über eigene Abluftanlagen.

3.3.3.2 Beschreibung der Raumluftechnischen- Anlagen im Schauspielhaus

Anlage 1

Die Zuschauerlüftung hat einen maximalen Zuluft Volumenstrom von 8.483 m³/h. Sie ist keine Vollklimaanlage sondern eine Teilklimaanlage, da nur die Funktionen Heizen und Kühlen durchgeführt werden können. Für die Erwärmung der Außen- bzw. Mischluft ist ein Pumpen-Warm- Wasser- Lufterhitzer verbaut, der durch die Fernwärme gespeist wird.

Dahingehend beträgt die Heizleistung 109,81 kW und die Kühlleistung 36,5 kW. Diese Lüftungsanlage ist mit einem dreistufigen Zuluft- und 2 zweistufigen Abluftventilatoren ausgerüstet.

Bei kompletter Betrachtung ergibt sich folgender Schaltverhalt für die Gesamtanlage:

Stufe Lüftungsanlage	Stufe Zulüfter	Stufe Ablüfter 1 (R140)	Stufe Ablüfter 2 (R150)
0	0	0	0
1	1	1	0
2	2	2	0
3	3	2	1
4	3	2	2

Tabelle 3: Schaltstufen der Lüftungsanlage im Schauspielhaus

Dabei stehen die Schaltstufen 1 – 3 für den Normalbetrieb und Stufe 4 für den Pausenbetrieb, in dem es erforderlich ist den Zuschauerraum schnellstmöglich ent- und wieder zu belüften. Die Regelung der Temperatur wird als Raum- Zuluft- Kaskaden Regelung ausgeführt, bestehend aus einem Führungsregler und Folgereglern. Störungen der Zuluft werden somit korrigiert, bevor sie die Raumtemperatur beeinflussen können.

Anlage 2

Die Zuluftanlage des Foyers ist seit der Errichtung der kleinen Bühne 2003 auch für ihre Zuluftversorgung zuständig. Da für das Foyer nur die Erhitzung der Zuluft notwendig war, ist in der zuständigen Lüftungsanlage auch nur ein Erhitzer an den Zuluftventilator gekoppelt. Der geteilte Volumenstrom von je 5500 m³/h hat eine Gesamtheizleistung von 136 kW. Die Einspeisung der Zuluft in die kleine Bühne erfolgt über sieben Luftdurchlässe „Kiefer Indulclip Typ Q“ mit nachgeschalteten Volumenstromreglern von Wildeboer.

Diesbezüglich wurde die Abluftanlage des Foyers, mit einem Volumenstrom von 11.000 m³/h und 7,36 kW Lüfterleistung, durch einen Verteiler an die kleine Bühne ergänzt. Die zwei Ventilatoren mit einer Leistung von je 1,84 kW saugen die Abluft der kleinen Bühne in den Abluftkanal des Foyers. Da die kleine Bühne den Anforderungen z.B. des Zuschauerraumes entspricht, sich durch den Aufenthalt von vielen Personen also die Raumtemperatur sehr schnell erhöht, wurde zusätzlich eine Kältemaschine im Splitbetrieb mit einer Kühlleistung von 19.74 kW und dem erforderlichen Ventilator mit einer Anschlussleistung von 1,2 kW verbaut.

Anlage 3 + 4

Licht- und Tonstellwarte wurden 1999 mit „Gebläsekonvektoren FCX“ der Firma „AER-MEC“ zur Warmluftzufuhr inklusive Fernbedienungen ausgestattet. Sie liefert einen Zuluftvolumenstrom von 440 m³/h bzw. 1.010 m³/h bei einer Heizleistung von 1,3 kW bzw. 2,2 kW. Zur Kühlung der beiden Räume sind NovathermSplitklimagerate der Serie S, Inneneinheit FMC, mit 2,4 kW bzw. 5,1 kW verbaut.

Aufgestellt sind die Geräte in der Lüfterzentrale Regie. Die Abluft wird für beide Regieräume von einem gemeinsamen System mit einer Leistung von 980 m³/h und 0,255 kW abgesaugt.

3.4 Beleuchtungstechnische- Anlagen

3.4.1 Allgemeine Erläuterungen zur Beleuchtung

Die Auswahl geeigneter Leuchtmittel muss auf der Grundlage verschiedenster Faktoren geschehen. Dabei sollten die nachfolgenden Parameter in die Betrachtung einer geeigneten Beleuchtungsauswahl einfließen:

- Physiologie,
- Psychologie,
- Technik,
- Arbeitssicherheit,
- Gestaltung,
- Wirtschaftlichkeit,
- Umweltfreundlichkeit.³⁷

Beeinflusst werden diese Faktoren vor allem durch die Gütemerkmale der einzelnen Beleuchtungsanlagen:

- Leuchtdichtevertelung,
- Beleuchtungsstärke,
- Blendungsbegrenzung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Lichtfarbe,

³⁷Vgl. AMEV. *Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden*. 2006 : s.n., 2006. S.7

- Farbwiedergabe,
- Flimmern.³⁸

Um die Farbwiedergabequalität besser differenzieren zu können, wurde nach DIN 6169-2³⁹ eine Einteilung der Farbwiedergabeeigenschaften von ausgewählten Lichtquellen vorgenommen. Die besten Farbwiedergabeeigenschaften erhält man bei weißem Licht, welches das gesamte Spektrum der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung enthält.

Stufe 1- sehr gute Farbwiedergabeeigenschaft

Stufe 2- gute Farbwiedergabeeigenschaft

Stufe 3 - weniger gute Farbwiedergabeeigenschaft

Stufe 4 -Farbbeurteilungen sind nicht möglich

Nach DIN 5035-1⁴⁰ müssen Innenraumbeleuchtungen für Arbeitsstätten mindestens der Stufe 3 entsprechen.

Lichtfarbe/ Farbtemperatur	Stufe der Farbwiedergabeeigenschaften	Lichtquelle (in Klammern: Osram- Bezeichnungen)
Tageslichtweiß >5000K	1	Xenonlampen, Halogen-Metaldampflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften, Dreibanden- Leuchtstofflampen (Lumilux 11)
Neutralweiß 3300-5000K		Halogen-Metaldampflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften, Dreibanden- Leuchtstofflampen (Lumilux 21)
Warmweiß 3300K		Glühlampen, Halogenglühlampen, Dreibanden- Leuchtstofflampen (Lumilux 31)
Tageslichtweiß >5000K	2	Halogen-Metaldampflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften
Neutralweiß 3300-5000K		Leuchtstofflampen (Universalweiß 25)
Neutralweiß 3300-5000K	3	Quecksilberdampf- Hochdrucklampen mit Leuchtstoff, Mischlichtlampen, Halogen- Metaldampflampen mit weniger guten Farbwiedergabeeigenschaften, Leuchtstofflampen (Hellweiß)
Warmweiß 3300K		Leuchtstofflampen (Warnton 30)
Gelb/ Gelbweiß <3300K	4	Natriumdampf- Nieder- und Hochdrucklampen

Tabelle 4: Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften⁴¹

³⁸Vgl. AMEV. *Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden*. 2006 : s.n., 2006. S.10

³⁹DIN 6169-2. *Farbwiedergabe; Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1976-02.

⁴⁰DIN 5035-3. *Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2006-07

Im Hinblick auf ein Energiespar- Contracting sind geplante Beleuchtungsinstallationen auch nach der Wirtschaftlichkeit, Energieverbrauch und geringem Instandhaltungsaufwand zu betrachten.

Die DIN EN 12464-1⁴² regelt hierbei die vorschriftsmäßigen Beleuchtungsstandards, sodass die geplante und installierte Beleuchtungsanlage einer guten Beleuchtungspraxis gerecht wird. Des Weiteren werden in DIN EN 1838⁴³ die Installations- und Auswahlvorschriften für Notbeleuchtungssysteme dargestellt.

3.4.2 Beschreibung der Beleuchtungsanlagen der Opernhaus

Die Beleuchtung im Opernhaus Chemnitz lässt sich in fünf verschiedene Kategorien klassifizieren:

- Gangbeleuchtung
- Arbeitsbeleuchtung
- Festbeleuchtung
- Szenische Beleuchtung
- Notbeleuchtung

Zur Gangbeleuchtung zählen alle Treppenhäuser, Büros, Umkleideräume, Lager- und Transportwege. Diese erhellen in der normalen Betriebszeit das Opernhauses durchschnittlich 12h bis 20h am Tag. Wie allgemein üblich, sind dort zum größten Teil Leuchtstoffröhren mit je 58 W und 5000 lm angebracht. Lumen (lm) ist die pro Sekunde abgestrahlte Leistung im Wellenbereich des sichtbaren Lichtes. Bei der installierten Anzahl von ca. 880 Röhren entspricht das einer Leistung von 51 kW. Des Weiteren werden noch verschiedenste Leuchtmittel mit einer zusätzlichen Anschlussleistung von 45 kW in der Allgemeinbeleuchtung eingesetzt. In die Gruppe der Arbeitsbeleuchtung fallen alle Lampen die zur Ausleuchtung der Bühne benötigt werden. Diese sind unter Berücksichtigung der Vorstellungen und Proben meist 10h am Tag zugeschaltet. Nur während den Vorstellungen und Endproben werden Teile des Ar-

⁴¹Friedrichs, Folkerts/.*Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik*. Würzburg : Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, 1996. S.109

⁴²DIN EN 12464-1. *Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-09.

⁴³DIN EN 1838. *Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung; Deutsche Fassung*. Berlin : Beuth Verlag gmbH, 1999-07.

beitslichtes abgeschaltet, um die Aufführung nicht zu stören. Diesbezüglich sind auf der Hinter- und Seitenbühne 16 Halogenstäbe mit 750W und 16.500 lm eingesetzt. Auf der Hauptbühne ist eine höhere Lichtleistung erforderlich, somit sind hier 5 Halogenstäbe mit je 1000W / 22.000 lm und 4 Halogenstäben mit je 2000W / 44000lm installiert.

Die Festbeleuchtung enthält alle Lampen die vor, während und nach einer Vorstellung die den Besuchern zugänglichen Räume erhellen. Schwerpunktmäßig sind diese im Foyer verbaut und sind ca.5h pro Vorstellung aktiv. Zum Einsatz kommen 452 Doppelfassungen, die 2 Energiesparlampen mit je 13W beinhalten. Zusätzlich werden das Foyer und die sich anschließenden Bars zur Pausenversorgung mit 228 Halogenlampen je 50 W ausgeleuchtet. Im Zuschauerraum werden 56 Halogenstrahler Osram 64445U mit 50 W und 80 mal Osram 64478 AX mit 150W eingesetzt. Diese leuchten an Vorstellungs- und Endprobentagen durchschnittlich 2h. Diese insgesamt 24,8 KW werden auch ca. 2 h am Tag zur täglichen Reinigung des Zuschauerraumes zugeschaltet.

Zur szenischen Beleuchtung gehören nur die Lampen(Scheinwerfer), die in den Vorstellungen in sogenannten Lichtstimmungen aktiv sind. Eine Lichtstimmung setzt sich aus der Anzahl und der Art der zu einem bestimmten Zeitpunkt eingeschalteten Scheinwerfer zusammen. Wechselt die Art, die Helligkeit, oder die Anzahl der Scheinwerfer, so wechselt analog auch die Lichtstimmung.

Die einzelnen Scheinwerfer werden durch 511 regelbare Stromkreise (Versätze) angesteuert. Aufgeteilt sind diese 512 Versätze in 128 x 5 KW und 384 x 2,5 KW. Dementsprechend muss beachtet werden, dass Scheinwerfer Leuchten sind, die das Licht durch ein optisches System bündeln um ein Objekt auf der Bühne hervorzuheben. Aufgrund dieser speziellen Anforderungen sind künstlerische Aspekte bei der Auswahl der Beleuchtungskörper für die szenische Beleuchtung notwendig und somit ist diese aus dem Energiespar- Contracting auszuschließen.

Die ca. 500 Notausgangs- und Stufenbeleuchtungen werden mit speziellen 5 W Energiesparlampen betrieben, die auch im Gleichstrombetrieb der Notstromanlage funktionieren.

3.4.3 Beschreibung der Beleuchtungsanlagen im Schauspielhaus

Die Kategorisierung der Beleuchtungsklassen im Zusammenhang mit den Nutzungszeiten und den eingesetzten Leuchtmitteln erfolgt nahezu analog zum Opernhaus. Unterschiede sind vor allem in der geringeren Menge der installierten Leuchten zu erkennen.

3.5 Gebäudeleittechnische- Anlagen

3.5.1 Allgemeine Erläuterungen zu Gebäudeleittechnischen- Anlagen

Die für die Gebäudeleittechnik geltenden Technischen Regelwerke sind:

- DIN 18386 - Gebäudeautomation
- VDI 3814 Blatt 1 – 5
- AMEV Gebäudeautomation 2005

Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sind die Schlüsselfunktionen der Gebäudeautomation mit deren Hilfen Verbindung mit einem effizienten Arbeitsablauf die flexible Nutzung der Geräte, der Heizung, Lüftung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Beleuchtung gewährleistet werden kann.

Durch intelligente Ausnutzung des an den Bedarf angepassten Anlageneinsatzes lässt sich außerdem eine Reduzierung der Energiekosten realisieren. Die Fähigkeit zur Messung, Aufzeichnung, Feststellung/ Diagnose und Angabe von Tendenzen ergibt das Gesamtbild eines Gebäudemanagementsystems. Dies wird vor allem durch die DCC- Regelungseinheiten (direct digital control) gewährleistet, bei denen die MSR- Funktionen frei programmierbar sind. Damit diese freie Programmierbarkeit auch bei einfachen, immer wiederkehrenden Anlagen kostengünstig genutzt werden kann, wurden Standardprogramme entwickelt, die durch einfache, flexible Anpassung der Regel- und Steuerparameter den Nutzerkomfort deutlich erhöhen.⁴⁴

Durch rechtzeitige Anlagenwartung und frühzeitige Fehlererkennung können Ausfälle vermieden und die Betriebssicherheit erhöht werden. Dabei bleibt die Selbständigkeit der einzelnen Betriebstechnischen- Anlagen erhalten, die Aufgabe der GLT- Anlage ist es, die BA- Anlagen zu leiten. Die folgenden Bereiche lassen sich durch ein technisches Gebäudemanagement verbinden:

- Versorgungstechnik (z. B. Heizungs-, Klima- und Lüftungs- und Sanitäreanlagen),

⁴⁴Vgl. Schneider, Wolfgang. *Praxiswissen Digitale Gebäudeautomation*. Braunschweig/ Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1997 S.15

- Fördertechnik (z. B. Aufzüge, Warentransportanlagen),
- Starkstromtechnik (z. B. Mittelspannungsschalt- und -installationsanlagen, Niederspannungsschalt- und -installationsanlagen, Beleuchtung),
- Nutzungsspezifische Anlagen (z. B. Küchentechnik, Prozesskältetechnik, Entsorgungsanlagen),
- Sicherheitstechnik (Zutrittskontrolle, Toranlagen, Fluchtwegüberwachung, Einbruch- und Überfallmeldeanlagen, Brandmeldeanlagen einschließlich zugehöriger Löschanlagen),
- Informations- und Kommunikationstechnik (Übertragungsnetze, Telefon, LAN, Betriebsfunk, Computerräume),
- Rauminstallationen (Einzelraumregelungen, Raumthermostate, Heizkörperventile, Raumluftsensoren, Beleuchtungsanlagen, Melder, Schalter, Zeitsteuerungen).⁴⁵

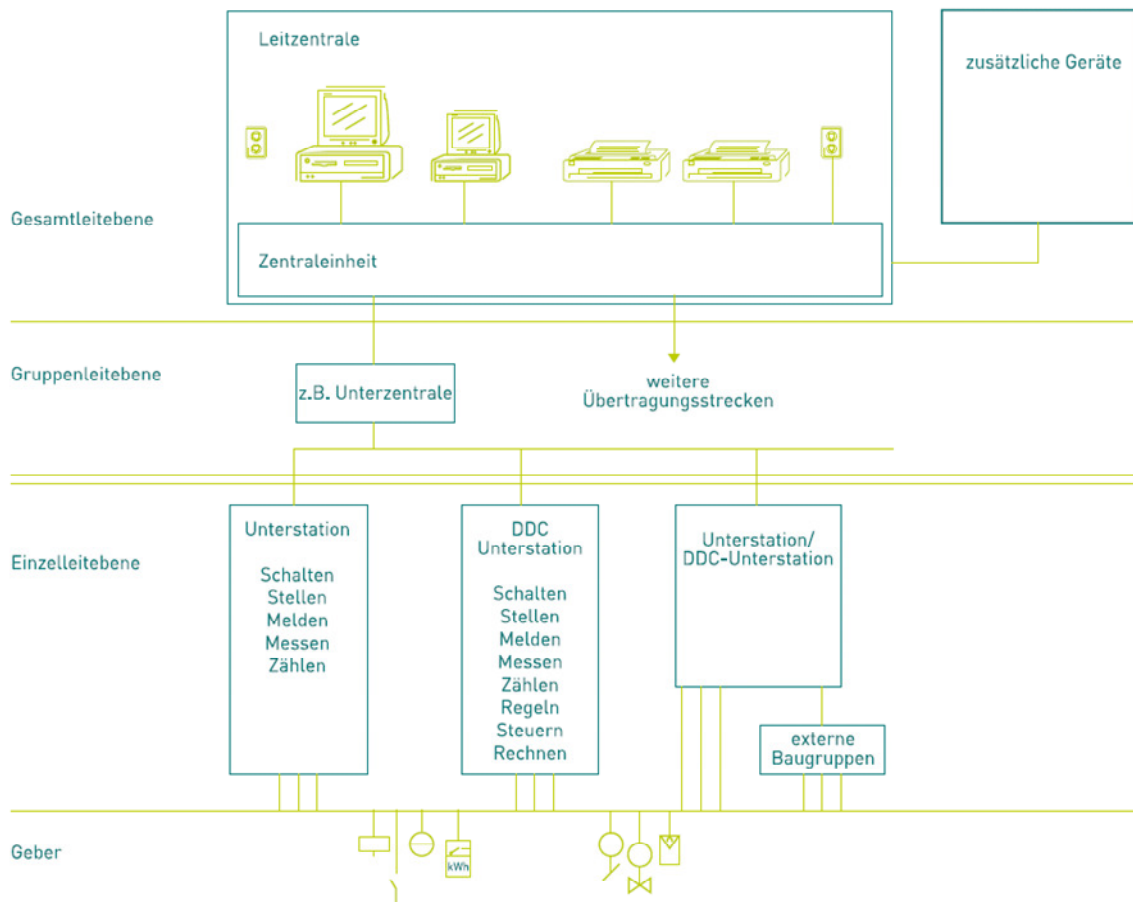
Trotzdem müssen die Betriebstechnischen- Anlagen unabhängig von der GLT- Leitebene funktionieren, um bei Störfällen ggf. durch einfachen Eingriff die grundlegenden Funktionen aufrecht zu erhalten. Vorzugsweise werden Gebäudeautomatisations- Systeme vor allem in komplexen Gebäuden mit umfangreichen und komplizierten Betriebstechnischen- Anlagen eingesetzt. Verstärkt sind liegenschaftsübergreifende Facility- Management- Systeme im Einsatz, die eine gebäudeübergreifende GLT als Grundlage haben.⁴⁶

3.5.1.1 Aufbau einer Gebäudeleittechnischen- Anlage

Wie in 1. bereits erwähnt, findet die Regelung durch digitale Informationsverarbeitung statt, d.h. dass die Kommunikation der Rechner sowie die Datenverarbeitung untereinander im Binär- Code erfolgt. Grundsätzlich lassen sich GA- Systeme, nach VDI 3814 Blatt 1, wie folgend dargestellt strukturieren.

⁴⁵ Vgl. AMEV- Gebäudeautomation. Berlin : s.n., 2005 lfd Nr. 87. S.12

⁴⁶ Vgl. AMEV- Gebäudeautomation. Berlin : s.n., 2005 lfd Nr. 87. S.35

Abbildung 14: Schematische Darstellung der GLT⁴⁷

Geberebene

In der Geberebene erfolgt eine Informationsaufnahme aus dem Prozess durch die installierten Feldgeräte (Aufnehmer und Aktoren) die dem Prozess weiterführend als Stellbefehle zugeführt werden. Man unterscheidet hinsichtlich der Art der Signalausgabe zwei verschiedene Varianten:

- Mit digitalem Ausgangssignal für Steueraufgaben bzw. 2- oder 3- Punktregelung (Befehlskontakte; digitale Stellantriebe; Motoren)
- Analoges Ausgangssignal für stetige Regelung (analoge Stellantriebe)⁴⁸

Einzelleitebene

Durch Verbindungsleitungen werden die Stellbefehle an die Unterstationen weitergeleitet, die klassische Funktionen wie Regeln, Steuern und Überwachen, als auch höhere Verarbeitungs-

⁴⁷VDI. 3814- Gebäudeleittechnik (GLT). 1-5. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-11. S.3

⁴⁸Vgl. VDI. 3814- Gebäudeleittechnik (GLT). 1-5. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-11. .3

funktionen, die in Echtzeit ablaufen, umfasst. Die Unterstationen sind als unterste Leitebene struktureller Bestandteil der GLT, sowie funktionaler Bestandteil der BLT, weshalb sie nicht allgemeingültig abgegrenzt werden können. Sind die ausführenden Verarbeitungsteile der Feldgeräte in der Lage, Regel- und Steuerfunktionen auch ohne übergeordnete Leitebene wahrzunehmen, so werden sie als DDC (direct digital control) Automatisierungseinrichtungen bezeichnet. Falls die GLT über einen gewissen Zeitraum hinweg keine Kommunikationsmöglichkeit mit den Unterebenen hat, gewährleisten die DCC- Regler einen ausreichenden Betrieb der BTA. Durch die in den Speichern der DCC- Unterstationen gespeicherten Steuer- und Regelfunktionen ist für ein selbsttätige Steuerung und Regelung keine aktive Busverbindung zu den Leitebenen mehr nötig.

Gruppenleitebene

Funktionen, die nicht mehr in Echtzeit ablaufen, werden bei technischen Aufgaben in der Gruppenleitebene zusammengefasst. Die darin eingeordneten Unterzentralen übernehmen einen Teil der Grund- und Verarbeitungsfunktionen durch programmierte Funktionsabläufe, die ihre Informationen von den Unterstationen bzw. den Leitzentralen beziehen. Dabei können einer Unterzentrale mehrere Unterstationen zugeordnet sein.

Gesamtleitebene

Die Aufgabe der Leitzentralen der Gesamtleitebene besteht in der zentralen Erfassung und Visualisierung aller betriebsrelevanten Vorgänge in den DDC- Unterstationen. Durch koordiniertes Leiten und Überwachen soll so die optimale Funktion des Gesamtsystems sichergestellt werden. Sich ergebende wichtige Funktionen sind:

Überwachen, Befehlen, Quittieren, Protokollieren, Bilanzieren, Auswerten, Statistik, Dokumentieren, Datensicherung, Ereignisverarbeitung/Alarmierung, übergeordnetes Bedienen und Beobachten, Parametrieren und Archivieren im Sinne eines Energie- und Kostenmanagements.

3.5.2 Beschreibung der Gebäudeleittechnischen- Anlage des Opernhaus

Die GLT des Opernhauses ist ein heterogenes GA- System. Dieses ist durch unterschiedliche Schnittstellen zwischen der Leitebene und den Unterzentralen, bedingt durch unterschiedliche

Fabrikate, gekennzeichnet. Da die Kommunikation durch die Anpassungsrechner (Gateways) geschieht, ist das System in seiner Funktionalität, gegenüber einem homogenen GA- System , eingeschränkt. Die Funktionalität richtet sich hauptsächlich nach der Kompatibilität der einzelnen Teilsysteme.⁴⁹

Das „Siemens DESIGOTM INSIGHT – VISONIK“ System ist erst kürzlich für die Raumluftechnik im Opernhaus installiert worden. Theoretisch kann diese GLT notwendigen Regels-, Steuerungs- und Managementfunktionen in diesem und produktübergreifenden heterogenen Systemen mit Hilfe des BACnet- Protokolles⁵⁰(Building Automation Control Network-Protokoll) durchführen. BACnet ist ein 1987 in den USA entwickeltes Kommunikationsprotokoll, welches sich als hierarchieübergreifender Standard sowohl für die Managementebene und deren Anbindungen die Automationsebene als auch für die Kommunikation auf der Automationsebene und für kommunikationsfähige Feldgeräte versteht. Inzwischen ist BACnet als DIN EN ISO 16484-5 weltweit genormt.

Die Steuerung und Regelung des Heizungsbereiches erfolgt durch das „SAIA PCD2“ System. Durch die fehlende Kompatibilität der beiden BTA- Anlagen kann keine Systemübergreifende Steuerung bzw. kein Gebäudemanagement im Sinne einer GA erfolgen.

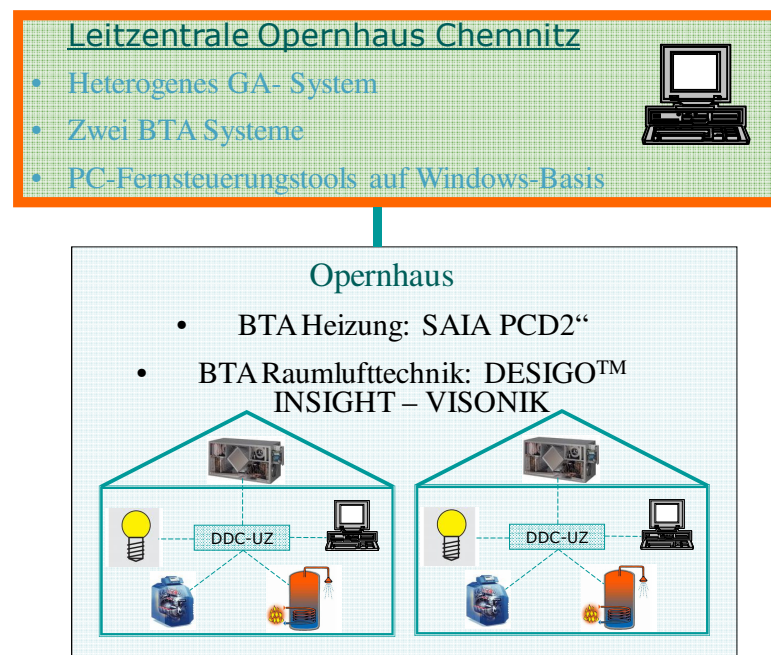


Abbildung 15: GLT im Opernhaus

⁴⁹Vgl. AMEV- Gebäudeautomation. Berlin : s.n., 2005 lfd Nr. 87. S.22

⁵⁰Vgl. AMEV- Gebäudeautomation. Berlin : s.n., 2005 lfd Nr. 87. S.22

Im Gegensatz dazu übernimmt bei einem homogenen GA- System eine Errichtungsfirma die Gesamtverantwortung für die Koexistenz, Zusammenarbeit und Austauschbarkeit der verwendeten Komponenten. Die Kommunikation der Funktionen erfolgt hierbei nach einem einheitlichen Kommunikationsprotokoll, welches vom Hersteller entwickelt wurde.⁵¹

Die Leitzentrale ist bei Vorstellungs- und Probenbetrieb immer besetzt, um lüftungstechnische Bedarfseinstellungen zu programmtechnischen Anpassungen und Erweiterungen in Eigenregie vorzunehmen.

3.5.3 Beschreibung der Gebäudeleittechnischen- Anlage des Schauspielhaus

Im Schauspielhaus Chemnitz ist keine GLT Anlage installiert. Die einzelnen Steuer- und Reglungsmöglichkeiten für die Heizungs- und Klimaanlage ermöglichen kein übergeordnetes Managementsystem, da keine ganzheitliche Betrachtung der Planung, Ausführung und Bedienung der technischen Gebäudeausrüstung möglich ist.

Im Schauspielhaus Chemnitz wird die zentrale Lüftungsanlage des Zuschauer- und Foyerbereichs von einer DDC- Unterzentrale von „Landis&Staefa“ des Typs PRV2 gesteuert. Diese realisiert und überwacht alle Prozessinformationen, die an diesem Datenpunkt zusammenlaufen und ausgewertet werden. Entsprechend der Regelaufgabe gewährleistet der DDC- Regler die Steuerfunktionen (z.B. bei bestimmten Störmeldungen). Über die manuelle Parameter-Steuerung besteht die Möglichkeit, die Anlage zu einem bestimmten Zeitpunkt arbeiten zu lassen, ohne die Sicherheits- und Regelfunktionen außer Betrieb zu setzen. Der an der Anlage voreingestellte Sollwert von 23°C kann am Regler in sinnvollen Grenzen verändert werden, dies führt aber nur während des Rahmenzeitprogrammes zum Einschalten der Lüftungsanlage. Weiterhin besteht die Möglichkeit, bestimmte Sollwerte zu beeinflussen und vorzugeben. Durch entsprechende Regler „PRV 264“ des Siemens „VISONIK“ Systems, kann die Lufttechnische- Anlage in bis zu vier Stufen geregelt werden, wobei im Wesentlichen nur eine Hand- bzw. Zeitsteuerung genutzt wird.

⁵¹Schneider, Wolfgang. *Praxiswissen Digitale Gebäudeautomation*. Braunschweig/ Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1997. S.250

Für die vier Heizkreise ist ein „Heizungs- und Fernheizungsregler TROVIS EB 5576“ installiert worden, der eine stufenlose Regelung ermöglicht. Des Weiteren erfolgt die Steuerung der Raumluft im Licht- und Tonstudio durch eine „AERMEC Fernbedienung PXTR2“.

3.5.4 Beschreibung der Feldebene

Die in den Theatern Chemnitz verbauten E/A Module sind Geräte der Firma „Landis&Gyr“. Nachfolgend werden die verschiedenen Gerätemodelle sowie ihre Grundfunktionen exemplarisch dargestellt.

Meldemodule PTM1.4D20: dient zum Erfassen von Meldesignalen, die aus der Anlage in ein Profibus Meldesignal für das Prozessgerät umgesetzt werden. Die Meldungen können ausgelöst werden von:

- Thermostaten
- Melde- und Hilfskontakte von Schützen und Schaltern

Stellmodule PTM1.2Y10S: Stellmodul zum Erfassen von Signalen, die von Geräten mit DC 0...10 V Signalen angesteuert werden oder ein solches weiterverarbeiten.

- Luftklappen und Ventilstellantriebe
- analoge Anzeige- und Registriergeräte
- Ankopplung anderer Systeme zur Übermittlung von :
Sollwerten, Fühlerwerten, Führungsgrößen

Messwertmodule für Temperaturfühler PTM1.2R1K: Temperaturmessungen mit Fühlern im Bereich von -50... + 150°C, sowie Wandeln von Fühlersignalen der folgenden Messgrößen:

- Raumtemperaturen
- Temperaturen in Luftkanälen und Rohrleitungen
- Außentemperaturen
- Temperaturen an Fensteroberflächen

Schaltmodule PTM1.2QD-M: Schaltmodule werden eingesetzt, wenn neben dem

Automatikbetrieb auch Handeingriff für Notbedienung notwendig sein muss, z.B.:

- Ventilatoren
- Pumpen
- Kältemaschinen
- Wärmepumpen
- Brenner
- Elektrolufterhitzer

Des Weiteren können sie Meldesignale weiterleiten.

Schaltmodule PTM1.2Q250: Signalumsetzer mit zwei voneinander unabhängigen

Steuerausgängen, die eingesetzt werden, zum Ein- und Ausschalten von:

- Leistungsschützen
- Relais und Halbleiterrelais
- Motoren
- Brenner
- Magnetventile
- Kältemaschine

Zum Auf- und Zu-Steuern von Stellantrieben, Klappen und Ventilen

Schaltmodul PTM1.3Q-M3: Dient zum Steuern und Schalten zwei- oder dreistufiger

Motoren und anderen elektrischen Lasten:

- Ventilatoren
- Pumpen
- Kältemaschinen
- Wärmepumpen.

Des Weiteren sind standardmäßig folgende Feldgeräte installiert:

Kanaltemperaturfühler QAM22: Wird in Lüftungs- und Klimaanlage eingesetzt als:

- Zuluft- oder Ablufttemperaturfühler
- Taupunkttemperaturfühler
- Messfühler
- Führungsfühler

Frostwächter QAF64: Vorwiegend in Lüftungs- und Klimaanlage eingesetzt, z.B. bei

Wärmetauschern zur Lufterwärmung bei denen durch einströmende, kalte Luft Einfriergefahr besteht.

Des Weiteren zum Schutz gegen Einfrieren von Ventilatoren, Heizventile öffnen, Luftklappen schließen

Stellantrieb für Radiatorventile SSA61: Einsetzbar in Heizungsanlagen zur Betätigung von Radiatorventilen

Dreiwegventil PN16 VXG41: Dient in Heizungs- und Brauchwasseranlagen sowie in Lüftungs- und Klimaanlage als Regelventil für die Funktionen „mischen“ und „verteilen“.

4 Verbrauchskostenbetrachtung

Für die folgenden Betrachtungen wurden die Baselinedaten aus dem Referenzjahr 2006 herangezogen, da in diesem Zeitraum die vollständigen Medienverbräuche mit den dementsprechenden Kosten dargelegt sind.

4.1 Betrachtung der Medienverbräuche im Opernhaus

4.1.1 Verbrauch und Kosten der Wärmemedien im Opernhaus

Im nächsten Diagramm ist der Fernwärmeverbrauch des Opernhauses nach Monaten, der RLT- Anlagen und der Heizung aufgeschlüsselt dargestellt. Charakteristisch ist der hohe Fernwärmeverbrauch in den Wintermonaten durch den erhöhten Wärmebedarf im selbigen Zeitraum. Dementsprechend erfolgt in den Sommermonaten eine Reduktion des Verbrauchs. Eine zusätzliche Minderung in den Monaten Juli und August lässt sich durch die 6- wöchige Spielpause begründen. In diesen zwei Monaten sinkt der Fernwärmebedarf auf 5 bis 6 % des Wertes der Wintermonate. Der leichte Rückgang des Verbrauches im Monat Februar ist dagegen auf die im Tarifvertrag festgesetzte Urlaubszeit von 10 Tagen zurückzuführen. Diese wurde allerdings im Jahr 2010 mit Auslaufen des Vertrags nicht erneuert. Im Rückschluss aus den Folgejahren kann man erkennen, dass die Fernwärmeverbräuche der einzelnen Monate nur geringen Schwankungen unterliegen.

Dabei werden ca. 2/3 der Wärmeleistung für die RLT- Anlagen und ca. 1/3 des Verbrauchs für die Beheizung durch Flächenheizkörper und das Trinkwarmwasser aufgebracht.

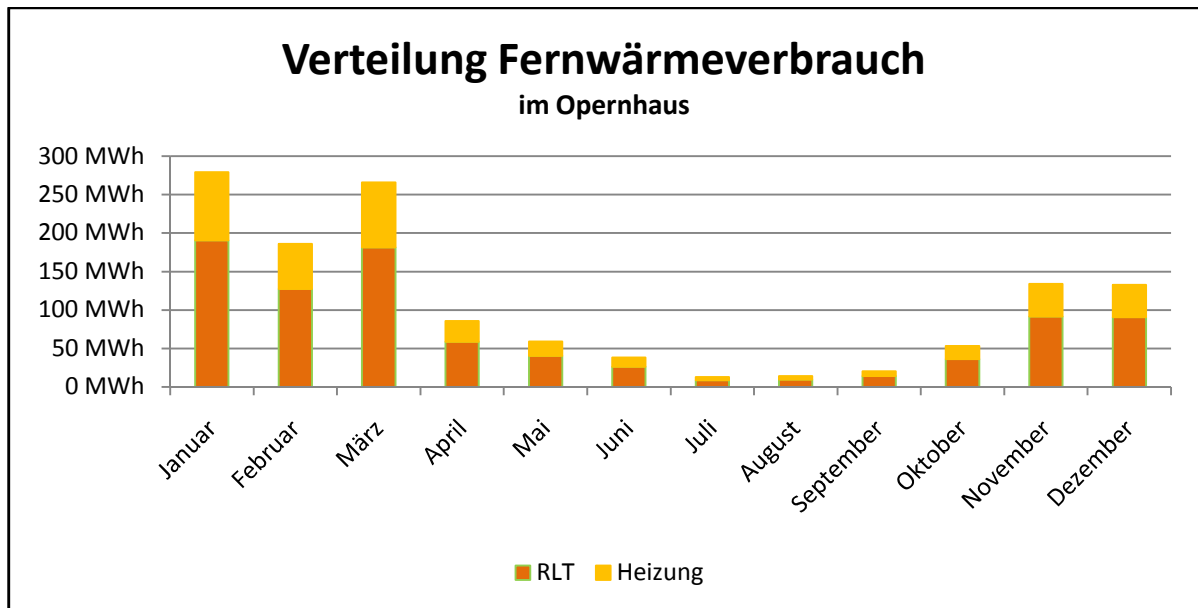


Abbildung 16: Verteilung des Fernwärmeverbrauchs im Opernhaus

Im Vergleich zum Fernwärmeverbrauch, ist die Nutzung der Fernkälte dem entgegengesetzt. In den Sommermonaten ist somit eine tendenzielle Steigerung des Kältebedarfs, begründet durch die steigenden Temperaturen, zu verzeichnen. Signifikant sind auch hier wieder die Reduktionen in den Monaten der Spielpause. Trotz des theoretisch hohen Kältebedarfs liegt dann der tatsächliche Verbrauch sogar unter den Werten der Wintermonate. Schwankungen treten analog zur Fernwärme vor allem in den Jahreswerten auf, nach Gegenüberstellung mit den Vergleichsmonaten ist jedoch wiederum eine gewisse Homogenität des Verbrauchs festzustellen.

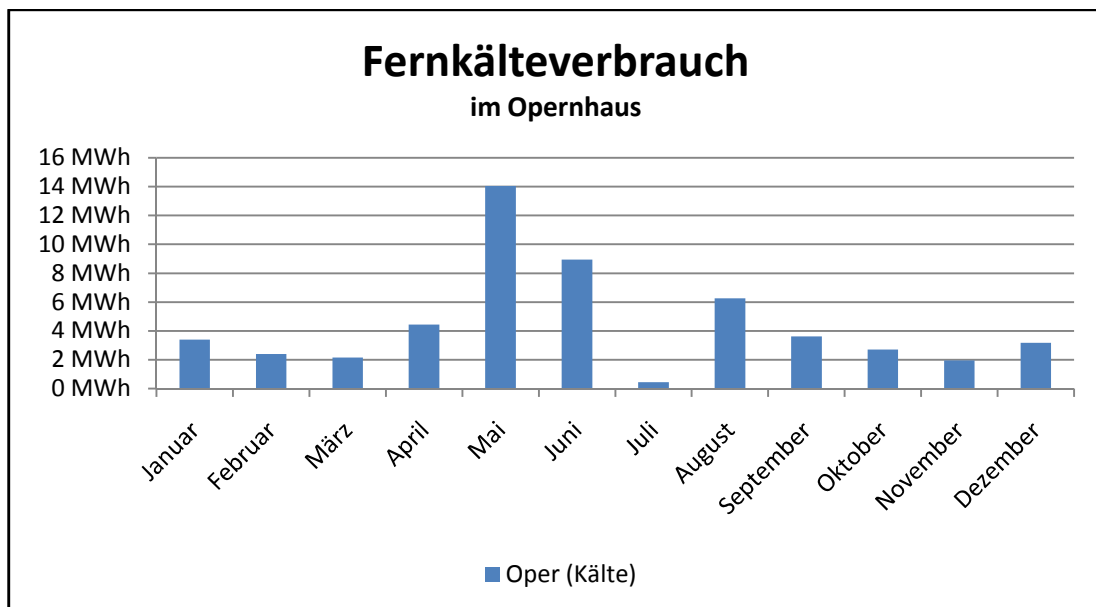


Abbildung 17: Fernkälteverbrauch im Opernhaus

Nach Gegenüberstellung der Trendwerte kann man die temperaturabhängigen Schwankungen der Abnahmemenge der Fernwärme und –kälte im Jahresüberblick erkennen, die die An- und Abstiege in den betreffenden Jahreszeiten beschreiben. Zur besseren Darstellung wurde dabei das Mengenintervall des Kälteverbrauchs angepasst.

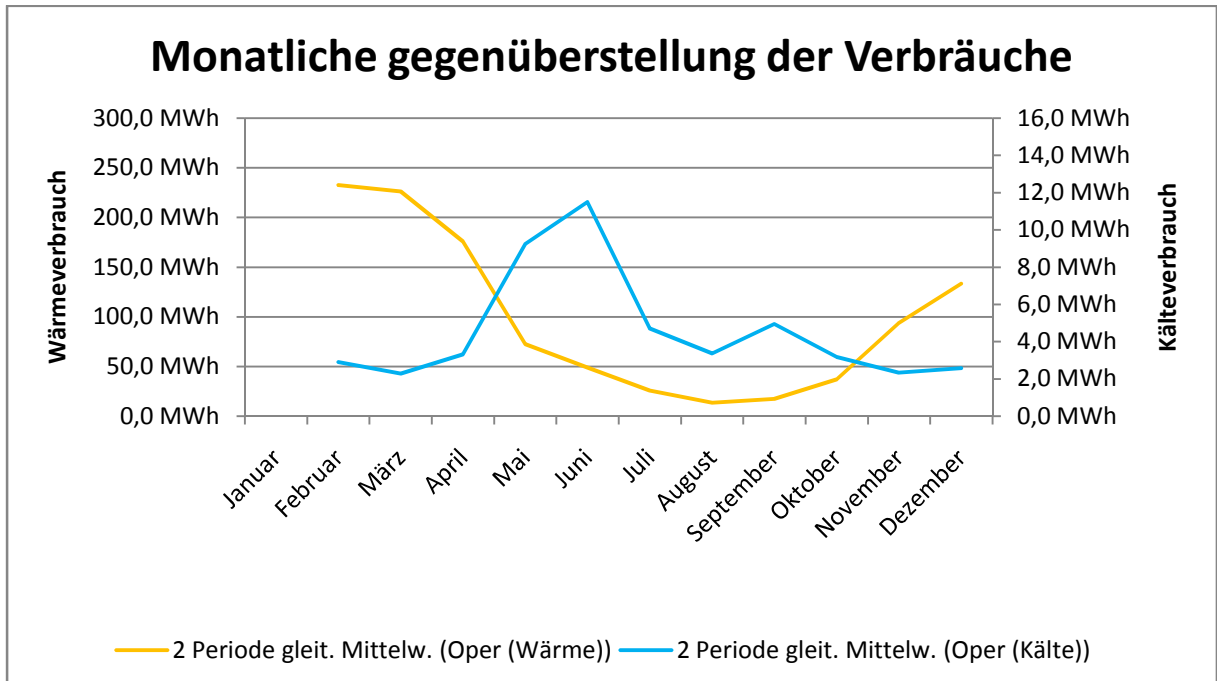


Abbildung 18: Gegenüberstellung Wärme,- Kälteverbrauch im Opernhaus

Wie aus der Abb. 19 zu entnehmen, ist die Differenz des Wärme- und Kälteverbrauchs sehr groß.

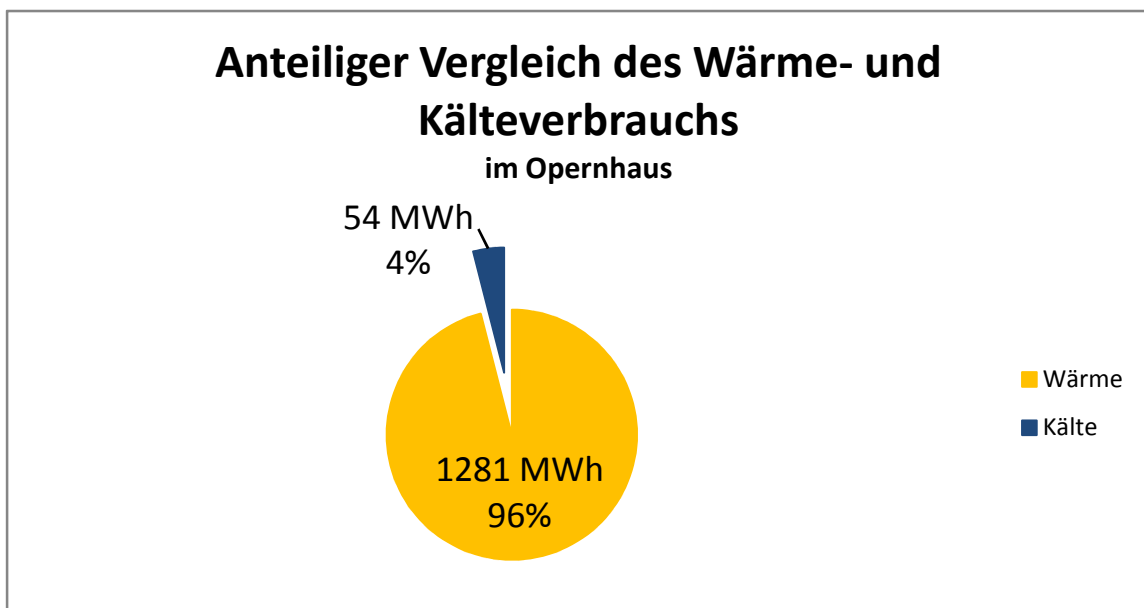


Abbildung 19: Vergleich der Wärme- und Kältemengen im Opernhaus

Ein grundlegender Faktor dafür ist die Temperaturanforderung die den genutzten Räumen zugrunde liegt. Um die Raumtemperatur den Anforderungen gemäß zwischen 22°C und 26°C zu halten, ist es erforderlich kontinuierlich die Räume durch RLT- Anlagen oder Heizkörper zu erwärmen. Da das Vorstellungshaus des Opernhauses Chemnitz zu einem großen Teil aus Sandstein erbaut wurde und Sandstein einen der höchsten Wärmedurchgangskoeffizienten hat, folgt daraus eine hohe Temperaturdifferenz zwischen den Energiesystemen der Außen- und Innenluft. Bei geringen Außentemperaturen müssen folglich große Energiemengen aufgebracht werden, um die Räumlichkeiten zu beheizen, bei hohen Außentemperaturen im Sommer vollzieht sich aufgrund des Wärmeausgleiches dagegen eine passive Kühlung. Eine gewisse Relativierung erfolgt allerdings durch die unterschiedlichen Lieferpreise der Verbrauchsmedien. Die des Weiteren erwähnten Kosten beziehen sich dabei auf die Mischpreise. Somit machen die 4% Anteil der Fernkälteleistung immerhin 12% der Kosten für die Fernmedien aus.

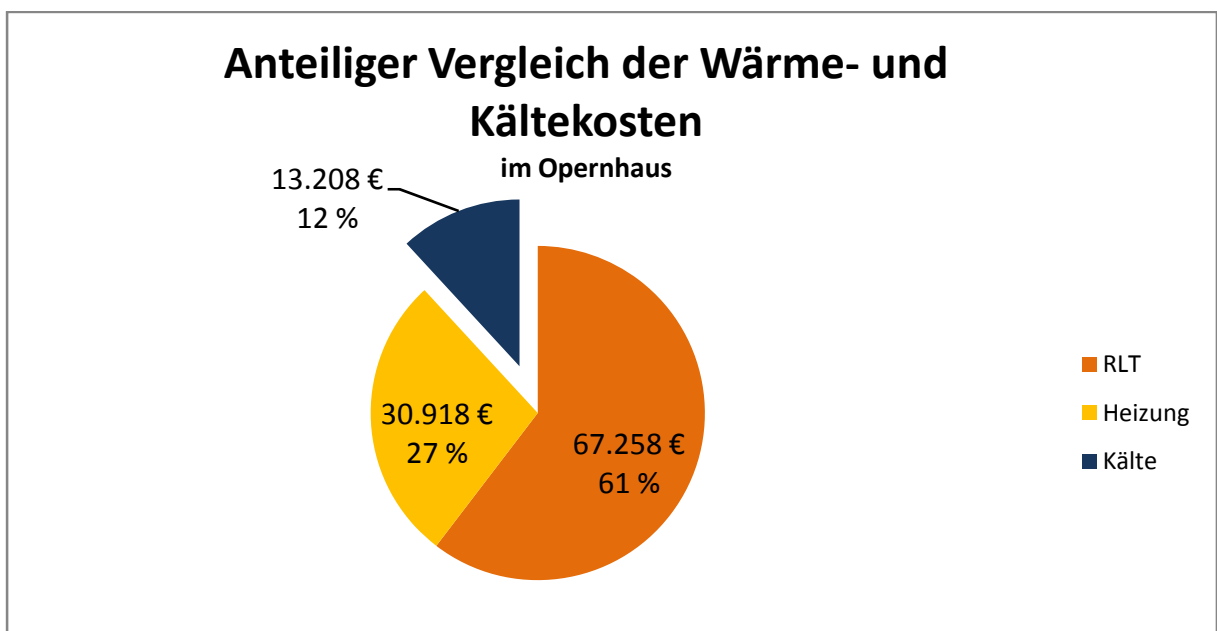


Abbildung 20: Vergleich Wärme- und Kältekosten im Opernhaus

Nachfolgend sind die Kosten der Wärmemedien im Jahresüberblick dargestellt, um die Abhängigkeit der Kosten zu den entsprechenden Temperaturen in den Jahreszeiten abzubilden.

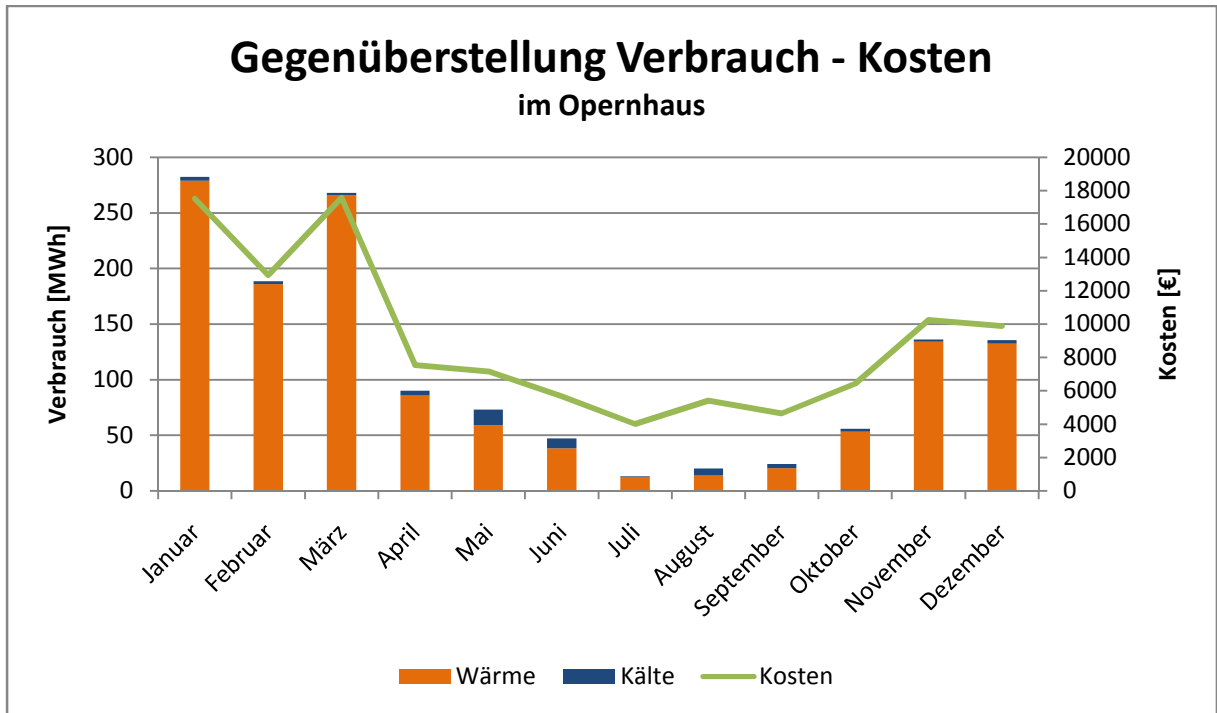


Abbildung 21: Gegenüberstellung Verbrauch und Kosten im Opernhaus

4.1.2 Verbrauch und Kosten der Wärmemedien im Schauspielhaus.

Die Wärmeverbräuche im Schauspielhaus lassen sich in Analogie zu denen im Opernhaus abbilden. Unterschiede gibt es vor allem in der Abnahmeleistung des Fernmediums, sowie in der Tatsache das das Schauspielhaus keine Fernkälte bezieht (siehe 3.2.3.2).

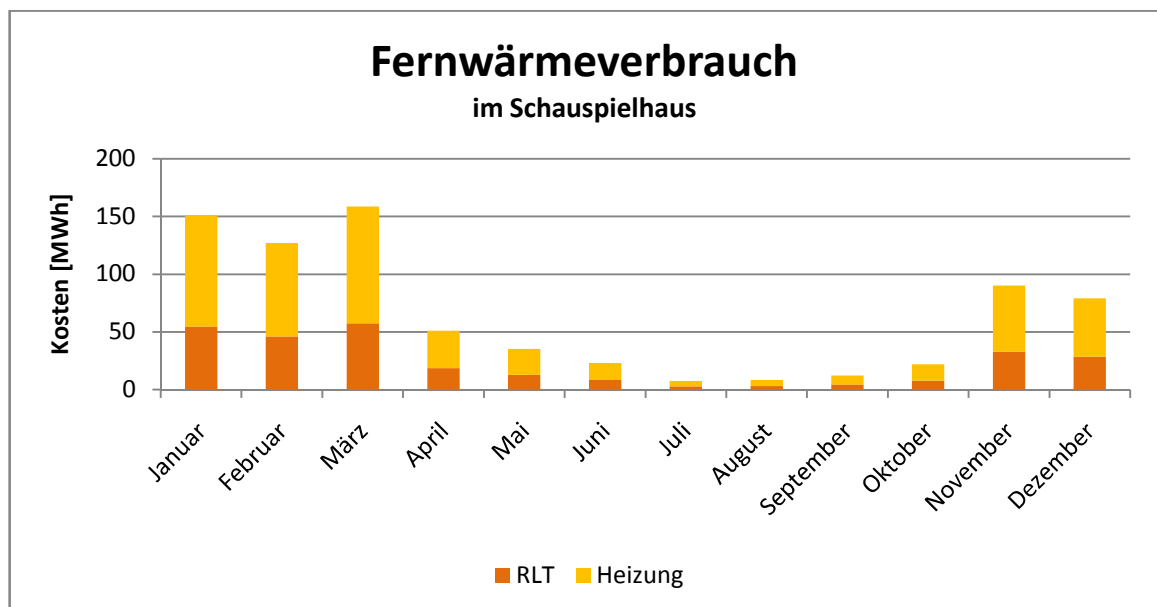


Abbildung 22: Fernwärmeverbrauch im Schauspielhaus

Da die Wärmebedarfsverteilung von Schauspielhaus und Opernhaus in den einzelnen Monaten grundsätzlich übereinstimmt, lässt darauf schließen, dass eine Beeinflussung hauptsächlich durch die entsprechenden Außentemperaturen erfolgt und das, obwohl im Schauspielhaus eine andere Gewichtung der Endnutzungsanlagen vorliegt. Hier werden 2/3 der Wärmeleistungen für das Heizungssystem und nur 1/3 von der RLT- Anlagen verwendet.

Somit lassen sich die Leistungsabnahmen in beiden Liegenschaften wie folgend abbilden.

Dementsprechend erfolgt analog zu den Verbräuchen auch die Verteilung der Kosten.

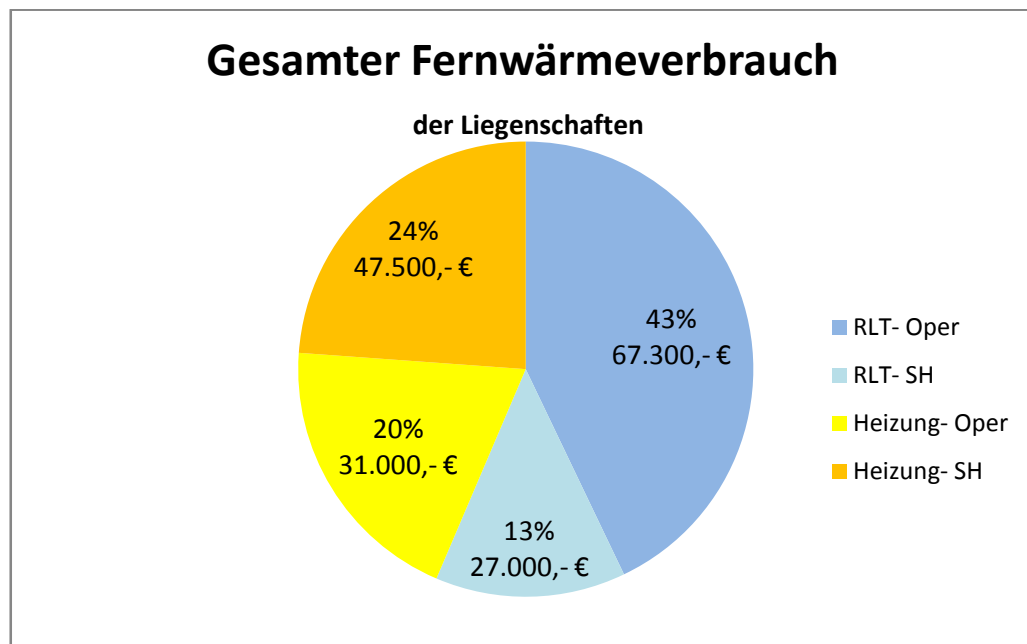


Abbildung 23: Gesamter Fernwärmeverbrauch der Liegenschaften

4.1.3 Verbrauch und Kosten von Strom im Opernhaus

Unter dem Gesichtspunkt der späteren Einschätzung zu Einsparpotentialen wurden die Stromverbraucher in Allgemeinbeleuchtung, Ventilatoren und sonstige Verbraucher unterteilt. Es ist im Gegensatz zu den Wärmeabnahmen festzustellen, dass der Verbrauch von Elektroenergie ganzjährig relativ konstant verläuft. Vergleichbar ist hingegen der Zeitraum der Spielpause, bei der eine Reduktion um ca. 50% der elektrischen Leistung erkennbar ist. Die Kosten verhalten sich dabei wieder äquivalent zu entsprechenden monatlichen Verbräuchen.

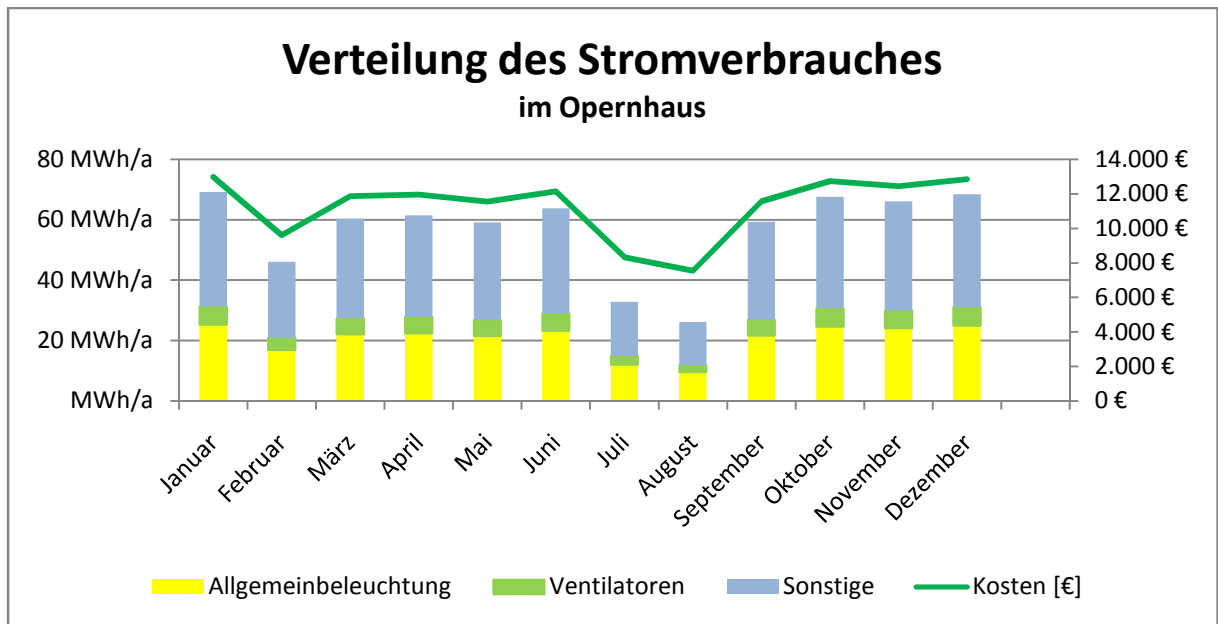


Abbildung 24: Verteilung des Stromverbrauches im Opernhaus

Der folgende Überblick verdeutlicht den mengenmäßigen Anteil der Allgemeinbeleuchtung von 36%, gemessen am gesamten Stromverbrauch. Übereinstimmend verhalten sich dazu auch die Verteilungen der Kosten.

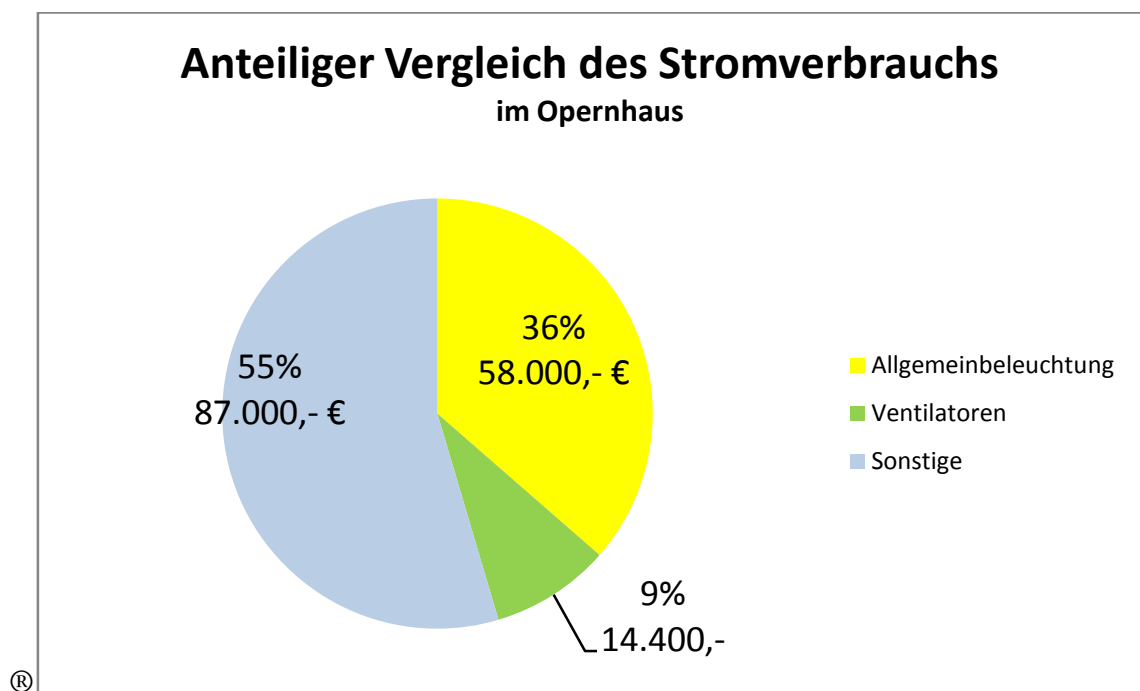


Abbildung 25: Anteiliger Vergleich des Stromverbrauches im Opernhaus

4.1.4 Verbrauch und Kosten von Strom im Schauspielhaus

Bei der Betrachtung des Verhältnisses von Stromkosten zu Stromverbrauch im Schauspielhaus, lässt sich eine weitestgehende Übereinstimmung der mengenmäßigen Relation der Werte im Opernhaus feststellen.

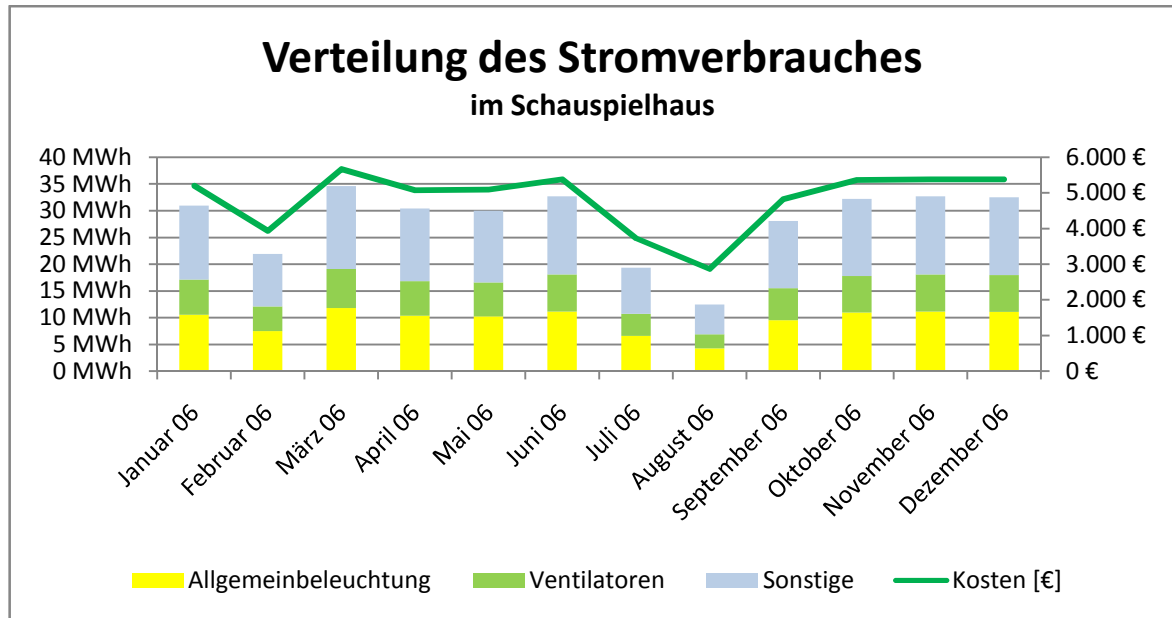


Abbildung 26: Verteilung des Stromverbrauches im Schauspielhaus

Lediglich die Gewichtung in den einzelnen Teilbereichen der Nutzungsart ist abweichend.

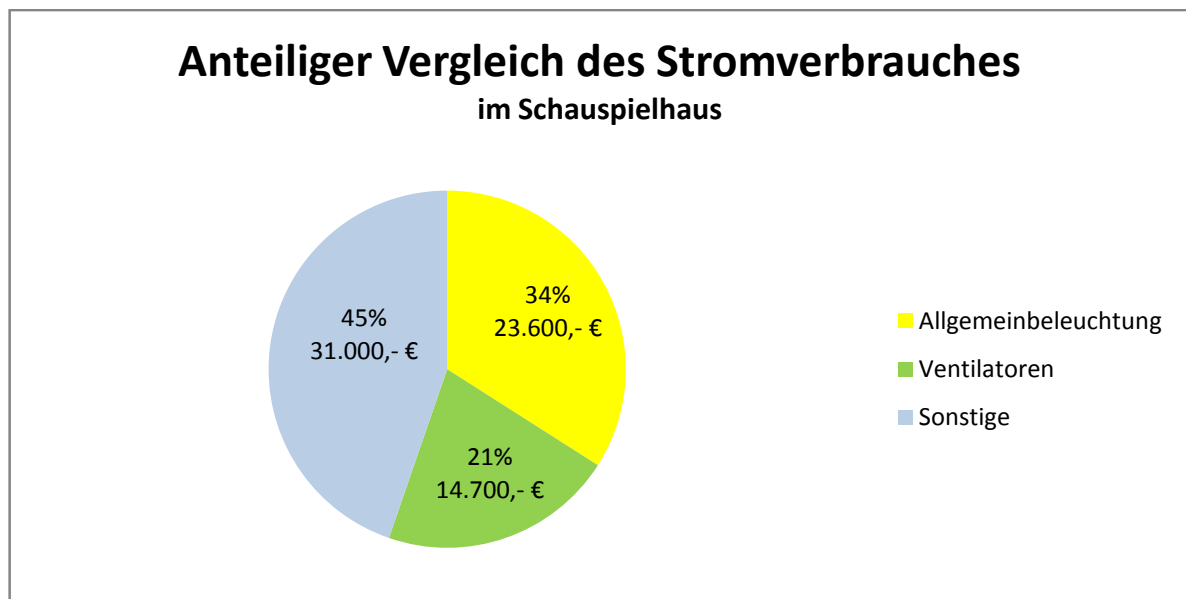


Abbildung 27: Anteiliger Vergleich des Stromverbrauches im Schauspielhaus

4.2 Energiekostenentwicklung

Die Energiekosten des Jahres 2006 belaufen sich für die Liegenschaften Opernhaus und Schauspielhaus auf 362.000,- € im Jahr. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich die abgenommene Leistungsmenge von jährlich ca. 3000 MWh durch anfallende Erneuerungen in der Anlagentechnik nicht wesentlich verändert, so findet trotzdem eine Erhöhung der Energiekosten statt. Diese Erhöhung der derzeitigen Kosten um den Faktor „x“ ergibt sich aus den Preissteigerungen für die einzelnen Verbrauchsmedien im Laufe der Jahre. Im folgenden wurde anhand der „VwV Energieeffizienz“⁵² von Preissteigerungsraten zwischen 3 - 5%, der gekoppelten Medienkosten über einen Contracting- üblichen Vertragszeitraum von 15 Jahren, ausgegangen.

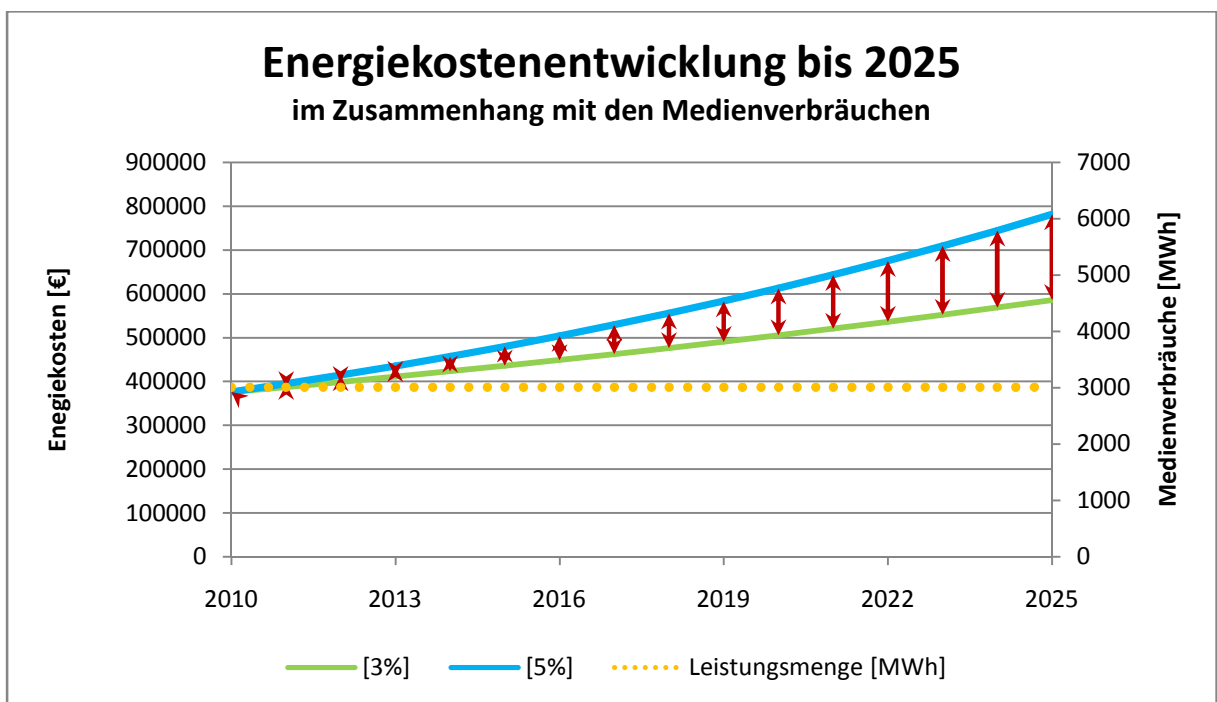


Abbildung 28: Energiekostenentwicklung bis 2025

Dies entspricht im Jahr 2025 einer Kostensteigerung von 35,81% – 51,90% (209.827 € – 405.737 €) im Vergleich zum Ausgangsjahr. Somit würden die Kosten nach 15 Jahren in einem Bereich zwischen 585.822,- € und 781.792,-€ betragen.

⁵²Land Sachsen.VwV Energieeffizienz. Sachsen : s.n., 2008-02.

5 Maßnahmen zur Kosteneinsparung der Anlagen

Bei den folgend dargestellten Energiesparmaßnahmen wurde als Grundlage die Energiesparverordnung⁵³ angewendet. Diese regelt die Anforderungen an Gebäude hinsichtlich des Jahres- Primärenergiebedarfes von Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Lüftung und gibt entsprechende Referenzwerte vor.

5.1 Einsparmaßnahmen an den Trinkwassertechnischen- Anlagen

Unter Berücksichtigung der in VDI 2067 Blatt 1⁵⁴ angegebenen Rechnungsnutzungsdauer für Trinkwassertechnische- Anlagenkomponenten, erkennt man, dass eine Erneuerung der Anlage nötig ist.

Trinkwassertechnische- Anlagenkomponente	Rechnungsnutzungsdauer (Jahre)
Absperr- und Drosselarmaturen	15
Entnahmearmaturen	10
Sicherungs- und Sicherheitsarmaturen	15
Rohrleitungen für erwärmtes Trinkwasser	25
Pumpen	10

Tabelle 5: Rechnungsnutzungsdauer von Trinkwassertechnischen- Anlagen⁵⁵

Die tatsächliche Lebensdauer der Anlagenkomponenten wird natürlich auch von den technischen Anlageneigenschaften, der Ausführungsqualität während der Produktion/ Installation, der konkreten Beanspruchung und der Wartung/ Instandhaltung beeinflusst.⁵⁶ Generell wird deshalb von einer mittleren Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten ausgegangen.

⁵³Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03.Bd. 1 lfd. Nr.23.

⁵⁴VDI 2067-1. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin : beuth Verlag GmbH, 2000-09.

⁵⁵Vgl.VDI 2067-1. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin : beuth Verlag GmbH, 2000-09.

⁵⁶Vgl.11. Institut für Erhaltung und Modernisierung.*Lebensdauer von Raumluftechnischen Anlagen*. 12/2006. S.6

In Bezug auf die EnEV sollten in den Liegenschaften, begründet durch die zentrale Warmwasserversorgung, auf den Bedarfsfall ausgelegte Pumpen und entsprechende Regeltechnik installiert werden. Da angenommen werden kann, dass der 6300 l Warmwasserspeicher im Opernhaus für die aktuellen Anforderungen wesentlich überdimensioniert ist und somit auch die damit verbundenen Bereitschaftsverluste, sollte der teilweise Aufbau dezentraler Warmwasserbereiter anvisiert werden. Die in den Rohrleitungen stattfindenden Verteilungsverluste können so, vor allem im Bereich der WC- Räume, minimiert werden. Da das Wasser permanent im Rohrleitungsnetz zirkuliert, entstehen die Verluste nicht nur zum Zeitpunkt des Bedarfes und der damit verbundenen Wasserabnahme, sondern über den ganzen Zirkulationszeitraum (Zirkulationsverluste) hinweg. Die maximale Leitungslänge für dezentral installierte, elektronische Durchlauferhitzer wird in der EnEV auf maximal 6 m festgesetzt, was Leitungslängen- und zirkulationsbedingte Wärmeverluste auf ein minimales Niveau herabsetzt und komplexe bedarfsorientierte Pumpenschaltungen unnötig macht.⁵⁷

5.1.1 Auswertung der Maßnahmen an den Wassertechnischen- Anlagen

Um die direkten Kosten für die Warmwasserbereitung zu ermitteln, wurde mit Hilfe der VDI 2067 Blatt 12⁵⁸ und der DIN V 18599 Blatt 10⁵⁹ der durchschnittliche Nutzenergiebedarf für die Wassererwärmung berechnet. Dadurch konnte überschlägig ermittelt werden, dass ca. 1/15 der jährlich anfallenden Kosten des Fernwärmebezuges durch den Warmwasserverbrauch begründet sind. Dazu müssen wie in 5.1 erwähnt, noch die anfallenden Kosten der Bereitschafts-, Verteilungs- und Zirkulationsverluste addiert werden. Diese konnten begründet durch den Umfang der nötigen Berechnungen nicht ermittelt werden. Detaillierte Ermittlungsmethoden sind auf der Basis der VDI 2067 Blatt 4 vorzunehmen. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Trinkwarmwasserkostendoppelt so hoch ausfallen wie der eigentliche Verbrauch. In Verbindung der oben genannten Maßnahmen mit der Umrüstung auf Sanitärarmaturen mit Kurzzeit- bzw. Bedarfsautomatik und der ggf. Erneuerung der Dämmungen für

⁵⁷Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03. Bd. 1 lfd. Nr. 23. S. 43

⁵⁸VDI 2067- 12. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2000-06.

⁵⁹DIN V 18599-1. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung . Berlin : beuth Verlag GmbH, 2007-02.

Wärmeverteilungsleitungen und Armaturen nach EnEV, ergeben sich theoretische Einsparpotentiale von 5 % (1000,- €) bis 10 % (2200,- €) der Trinkwarmwasserkosten. Gemessen an den Gesamtfernmedienkosten betragen die Einsparungen ca. 0,6 – 1,2 %.

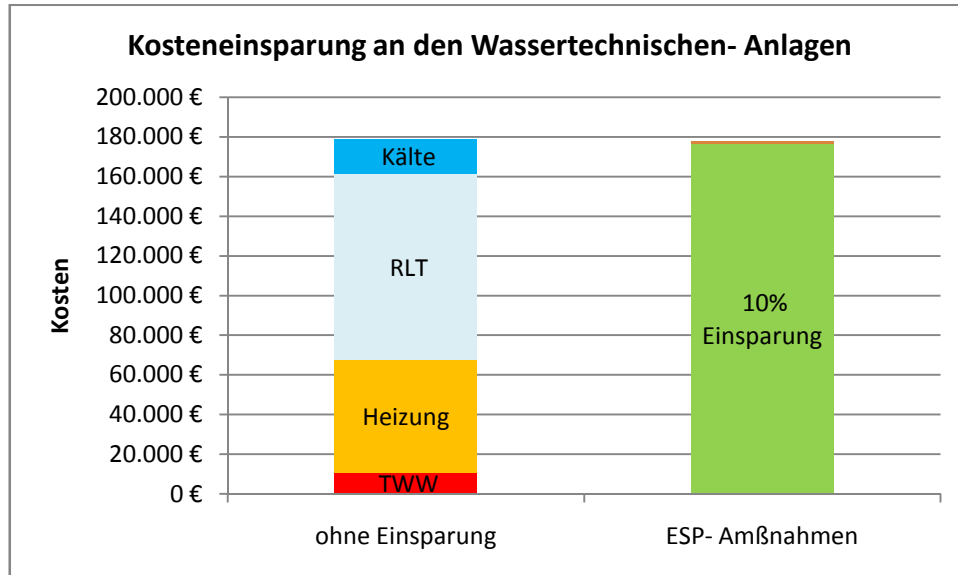


Abbildung 29: Kosteneinsparungen an den Wassertechnischen- Anlagen

5.2 Einsparmaßnahmen an den Wärmetechnischen- Anlagen

Nach der in VDI 2067 Blatt 1 angegebenen Rechnungsnutzungsdauer für Heizungstechnische- Anlagenkomponenten, ist eine Erneuerung großer Teile der Anlagenkomponenten notwendig.

Heizungstechnische- Anlagenkomponente	Rechnungsnutzungsdauer (Jahre)
Rohrleitungen	40
Dämmung	20
Pumpen	10
Armaturen	20
Regelungen	15
Wärmetauscher	20

Tabelle 6: Rechnungsnutzungsdauer von Heizungstechnischen- Anlagen⁶⁰

⁶⁰Vgl. VDI 2067-1. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin : beuth Verlag GmbH, 2000-09.

Um eine Optimierung des Betriebes der Heiztechnischen- Anlagen zu ermöglichen, sollten nach Bedarf elektronisch geregelte Umwälzpumpen installiert werden. Zusätzlich ist die Regeltechnik so zu erneuern, dass die Betriebsführungen Durchheizen, Aufheizen und Nachtabsenkung optimal an den Spielbetrieb der Liegenschaften angepasst werden können. Hierzu ist es auch notwendig, durch Einsatz entsprechender Feldgeräte einen konstanten Informationsfluss der Vorgänge in den Heizungstechnischen –Anlagenkomponenten für die Regelung bereitzustellen. Da auch in der Heizungstechnischen- Anlage, bedingt durch lange Leitungsnetze hohe Verteil- und Zirkulationsverluste auftreten, ist zur Überprüfung und ggf. Erneuerung der Wärmedämmung der Leitungssysteme und Armaturen die EnEV Tabelle 1⁶¹ mit den vorgegebenen Minstdicken für Dämmungen heranzuziehen.

Nach den anvisierten Einsparungen im Bereich von 10 % (5.500,- €) bis 15 % (8.500,- €) an den Kosten der Wärmetechnischen- Anlagen lassen sich die Kosten der Fernmedien um ca. 3 – 5 % senken. Gemessen an den Gesamtfernmedienkosten betragen die Einsparungen ca. 1,5 – 3,4 %.

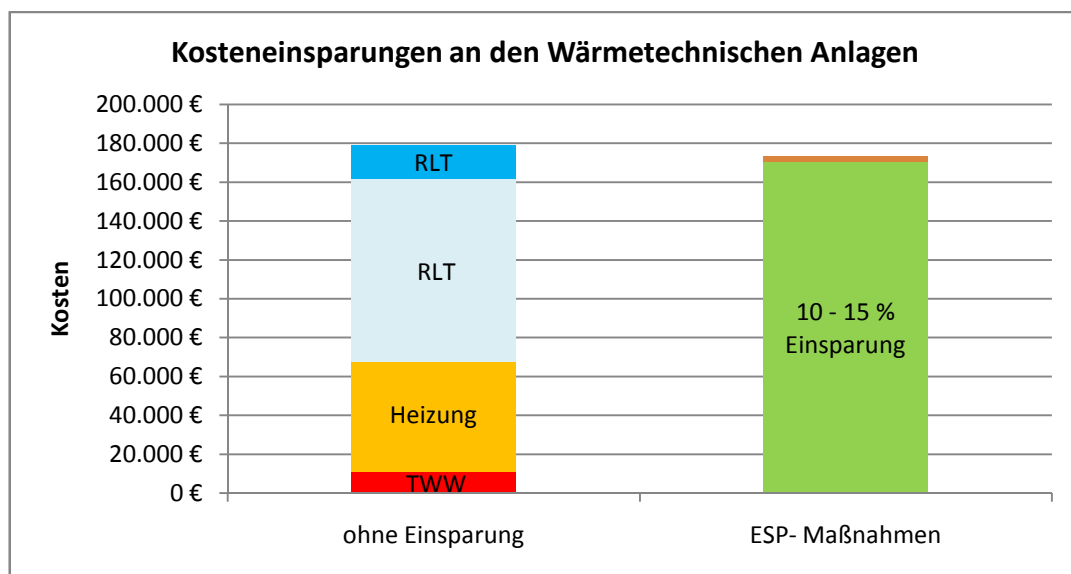


Abbildung 30: Kosteneinsparungen an den Wärmetechnischen- Anlagen

5.3 Einsparmaßnahmen an den RLT- Anlagen

Wie sich aus der folgenden Tabelle entnehmen lässt, ist die durchschnittliche Lebensdauer, fast aller betreffenden Anlagenkomponenten, schon überschritten:

⁶¹Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03. Bd. 1 lfd. Nr.23

Raumluftechnische-Anlagenkomponente	Rechnungsnutzungsdauer (Jahre)
Lufterhitzer (Wasser)	20
Luftkühler (Wasser)	20
Platten- Wärmetauscher	20
Befeuchter (Wasserdüse)	15
Ventilator	12
Luftkanal	20

Tabelle 7: Rechnungsnutzungsdauer von Raumluftechnischen- Anlagen⁶²

Um den baulichen Rückstand zu verringern und gleichzeitig Maßnahmen zum effizienteren Betreiben der Anlagen vorzustellen, wurden folgende Betrachtungen vorgenommen.

5.3.1 Wärmerückgewinnung

Der Grundgedanke einer Wärmerückgewinnung liegt in der Abgewinnung von Energie aus der ungenutzten Fortluft von Klimaanlage.

Zur Wärmerückgewinnung kann dabei auf vier grundlegende Übertragungssysteme zurückgegriffen werden. Bei den Systemen der Kreuzstrom- Wärmetauscher werden die beiden Luftströme (Abluft- und Außenluft) entlang gemeinsamer Trennflächengeführt, durch welche die Wärme übertragen wird.

Bei rotierenden Wärmeübertragern wird der langsam rotierende Speicher abwechselnd in je einer Hälfte von warmer und kalter Luft durchströmt.⁶³

In evakuierten Wärmerohren verdampfen und verflüssigen sich eine Flüssigkeiten (Kältemittel), um in den Rohren eine Wärmeübertragung der Ab- und Zuluftströme zu erreichen. Dabei werden die zwei Luftströmungen gegenläufig in den Rohren hindurchgeführt. Die warmen Abluftströme lassen das Kältemittel verdampfen und geben dabei ihre Wärmeenergie an sel-

⁶²Vgl. VDI 2067-1. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin : beuth Verlag GmbH, 2000-09.

⁶³Vgl. Eichmann, Rudolf A. *Grundlagen der Klimatechnik*. Heidelberg : C.F. Müller Verlag, 1998; S.66

biges ab. Durch die oberhalb im Rohr geführten kalten Zulüfte, verflüssigt sich das Kältemittel wieder und gibt Wärmeenergie an die Zuluft ab.⁶⁴

Dabei ist es notwendig, dass bei den drei Systemen die zwei Luftströme räumlich zusammengeführt werden. Somit müssten folglich die Systeme der Luftleitungen dementsprechend verändert werden, da sich alle Abluftanlagen auf den Dächern befinden.

Aufgrund der großen Entfernung zwischen Zu- und Abluftgeräten ist eine weitere Variante, in beiden Liegenschaften Kreislaufverbund- Systeme zu installieren. Dabei wird den Abluftanlagen mit Hilfe von Gegenstrom- Schicht- Wärmetauschern Wärmeenergie entzogen, die dann über ein Trägermedium an den Wärmetauscher der Zuluftanlage geleitet wird. Die im Trägermedium gespeicherte Wärme wird nun an die kalte Außenluft übertragen und erwärmt diese. Im Sommer wird dagegen die Spitze Kühllast und somit auch die Luftaufbereitungsenergie reduziert, was zu kleineren Kältemaschinen und zu geringeren Anschlusspreisen für elektrische Energie oder Fernkälte führt. Das Trägermedium wird dabei ständig im Kreislauf zwischen den beiden Wärmeübertragern gepumpt, ein Stoffaustausch findet somit nicht statt. Die Belastung durch Verunreinigungen kann deshalb als eine der geringsten von allen Wärmerückgewinnungssystemen angesehen werden.⁶⁵

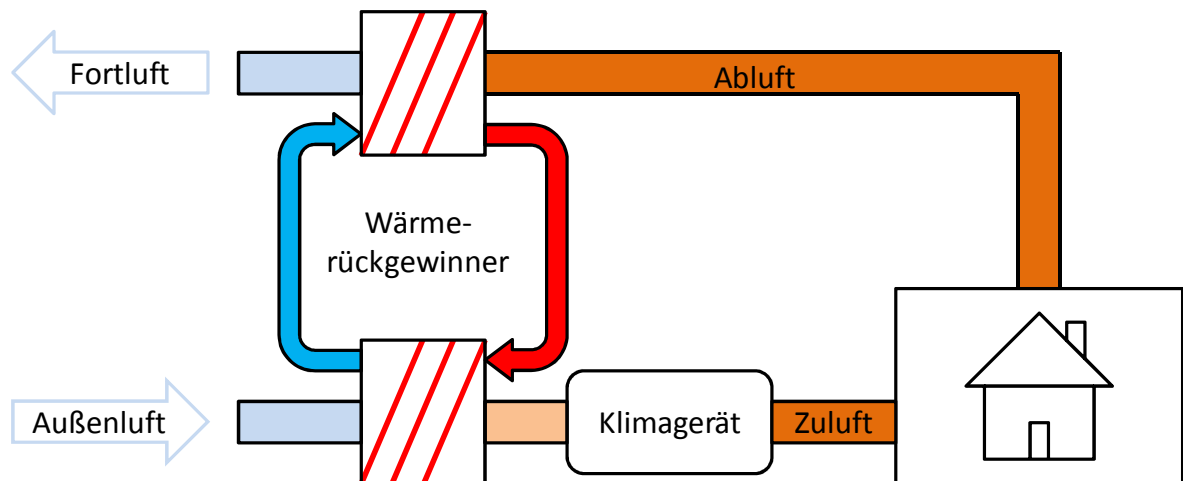


Abbildung 31: Wirkschema des Kreislaufverbundsystems

Während allerdings bei Kreuzstrom-, Rotations- Wärmetauschern und Wärmerohren Wärmerückgewinnungsgrade von 80 – 90 % durchaus denkbar sind, haben Kreislaufverbundsysteme

⁶⁴Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1376

⁶⁵Vgl.Eichmann, Rudolf A. *Grundlagen der Klimatechnik*. Heidelberg : C.F. Müller Verlag, 1998; S.66

meist nur Rückgewinnungsgrade zwischen 50 und 60 %.⁶⁶ Dies ist vor allem auf die zwei Wärmetauscher in KVS- Systemen zurückzuführen, die einen zweifache Energieübergang und somit doppelte Verluste während der Übertragung nach sich ziehen.

5.3.2 Ventilatoren

Ventilatoren lassen sich allgemein in Radial- und Axialventilatoren einteilen. In beiden Systemen wird die Luft mit Hilfe eines Verdichters von einem niedrigen Eingangsdruck auf einen höheren Ausgangsdruck gebracht.

Radialventilatoren saugen die Luft axial an und blasen sie radial wieder aus. Sie werden oft in der Span- und Staubbördertechnik genutzt. In RLT- Anlagen hingegen finden sie kaum Anwendung. Dort werden Axialventilatoren eingesetzt, die effizient hohe Volumenströme bei geringen Druckdifferenzen bewegen können.⁶⁷

Um die Ventilatoren der RLT- Anlagen drehzahlgesteuert stufenlos an die jeweilige Bedarfs-situation anzupassen, empfiehlt es sich, diese mit Frequenzumrichtern auszustatten. Bei neueren Modellen werden auch durch die Verringerung von Anlaufströmen zusätzlich Kosten gespart. Dabei kann von einer Einsparung von ca. 25 – 35 % ausgegangen werden.

5.3.3 Bauliche Anforderungen

Die EnEV gibt im Bereich Wärmerückgewinnung für RLT- Anlagen mit geregelter Luftkonditionierung einen Plattenwärmeübertrager (Kreuzgegenstrom) als Referenzgerät mit folgenden Werten an:

Rückwärmezahl	$\eta_t = 0,6$
Zulufttemperatur	18°C
Druckluftverhältnis	$f_p = 0,4$

Die Luftkanalführung muss hierzu innerhalb des Gebäudes verlaufen.⁶⁸

Nach VDI 3803 wird der Raumbedarf für die Lüftungsanlagen durch den Volumenstrom und die Anzahl der Aufbereitungskomponenten in den Klimageräten bestimmt.

⁶⁶Dipl.- Ing Kluge, Uwe. mündliche Information zum Thema.

⁶⁷Vgl.Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84. S.1148

⁶⁸Vgl.Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03.Bd. 1 lfd. Nr.23. S.43

Des Weiteren ist die Energieübertragung stark abhängig von der Größe des Wärmetauschers. Erhöht sich die Fläche im zu durchströmenden Medium, steigt auch die Wärmeübertragungszahl. Durch die Erhöhung der Wärmeaustauschfläche steigt auch gleichzeitig die gesamte Strömungsquerschnittsfläche, was im Umkehrschluss eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit und folglich einen geringeren Druckverlust zu Folge hat.⁶⁹ Damit kann auch die elektrische Leistungsaufnahme am Ventilator verringert werden.

Um den entsprechenden Ausbau realisieren zu können, müssen allerdings die entsprechenden räumlichen Gegebenheiten vorhanden sein, damit die dazugehörigen Technikzentralen errichtet werden können. Die VDI 3803⁷⁰ unterscheidet dazu zwischen der Aufstellung eines Einzelgerätes für alle Bereiche und der Aufstellung von mehreren Geräten.

In demfolgenden Diagramm ist gut zu erkennen, dass eine Gesamtanlage zwar weniger Grundfläche, dafür aber eine größere Raumhöhe benötigt. Neben dem Platzangebot der Gebäude muss in Anlehnung an die Anforderungen der Bereiche abgestimmt werden, welche der Anlagentypen in Frage kommen. Betreffende Anforderungen resultieren unter anderem aus den manuellen Eingriffen, die während des Spielbetriebes in die RLT- Anlagen des Zuschauer- und Bühnenbereichs erfolgen, um spezifische Luftströmungen zu beeinflussen.

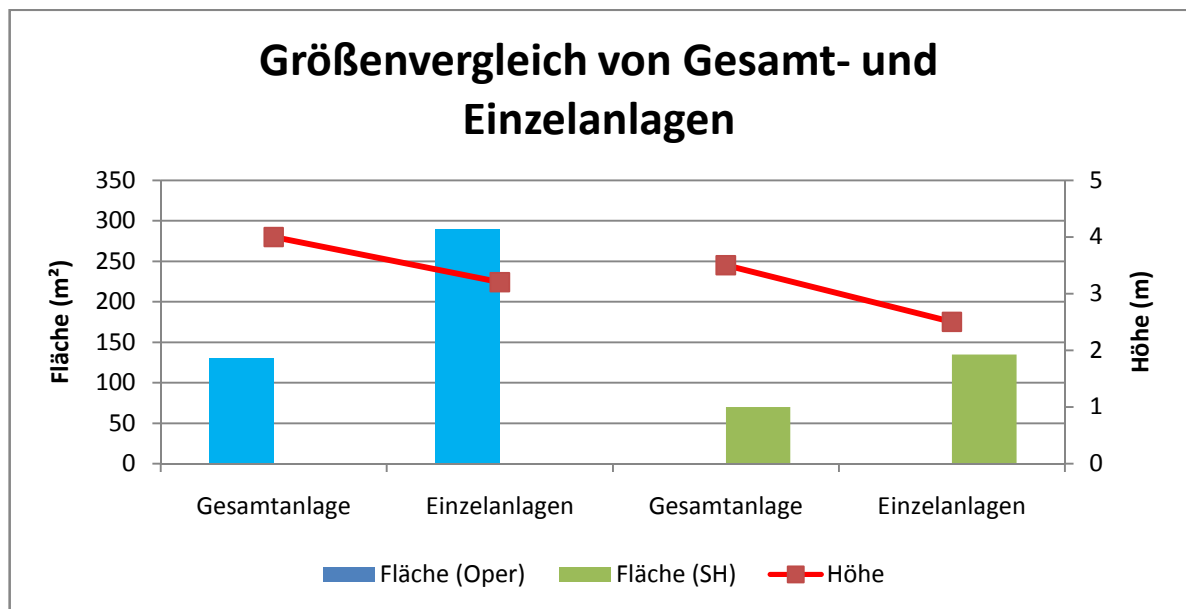


Abbildung 32: Größenvergleich von Gesamt- und Einzelanlagen

⁶⁹Vgl. Eichmann, Rudolf A. Grundlagen der Klimatechnik. Heidelberg : C.F. Müller Verlag, 1998. S.69

⁷⁰VDI 3803-1. Raumlufttechnik - Zentrale Raumlufttechnische Anlagen - Bauliche und technische Anforderungen . Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010-02. S.7

5.3.4 Auswertung der Maßnahmen der RLT- Anlage

Durch Anwendung von KVS- Systemen in den RLT- Anlagen lassen sich, in Bezug auf die Wärmerückgewinnungsgrade, die gesamten Kosten der Fernmedien um 73 – 67 % senken. Im unteren Diagramm wurden dazu die Fernmedien anhand ihrer zugeordneten Verbraucher Heizungstechnische- und Raumlufthausliche- Anlagen sowie Fernkälte differenziert dargestellt. Im rechten Balken des Diagramms sind mit „KVS – 50 %“ und „KVS – 60 %“ die Kosten an den gesamten Fernmedien aufgezeigt die bei einer 50- 60 prozentigen Einsparung mit Hilfe von Kreislaufverbund- Systemen entstehen würden. Im Schnitt würde dies eine Reduzierung der Fernmedienkosten von 172.700,- € um ca. 56.000,- € (50 %) bis 67.000,- € (60 %) im Jahr bedeuten.

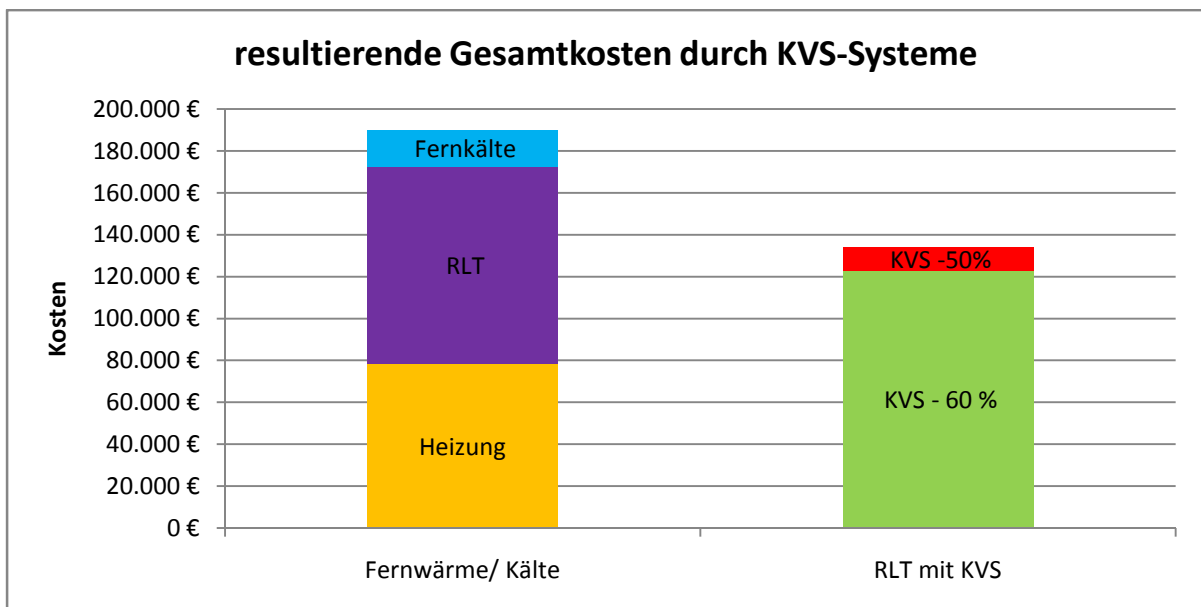


Abbildung 33: Kosteneinsparung durch KVS- Systeme

Zusätzlich lassen sich in die RLT- Anlagentechnik neue Ventilatoren bzw. Frequenzumrichter für diese integrieren. Mit solchen Komponenten können die Gesamtstromkosten von 228.780,- € p.a. auf 221.500,- € (25 %) bis 218.600,- € (35 %) pro Jahr minimiert werden. Gemessen an den Gesamtstromkosten besteht somit die Möglichkeit diese in einem Rahmen von 7.300,- € (25 %) bis 10.200,- € (35 %) jährlich zu senken.

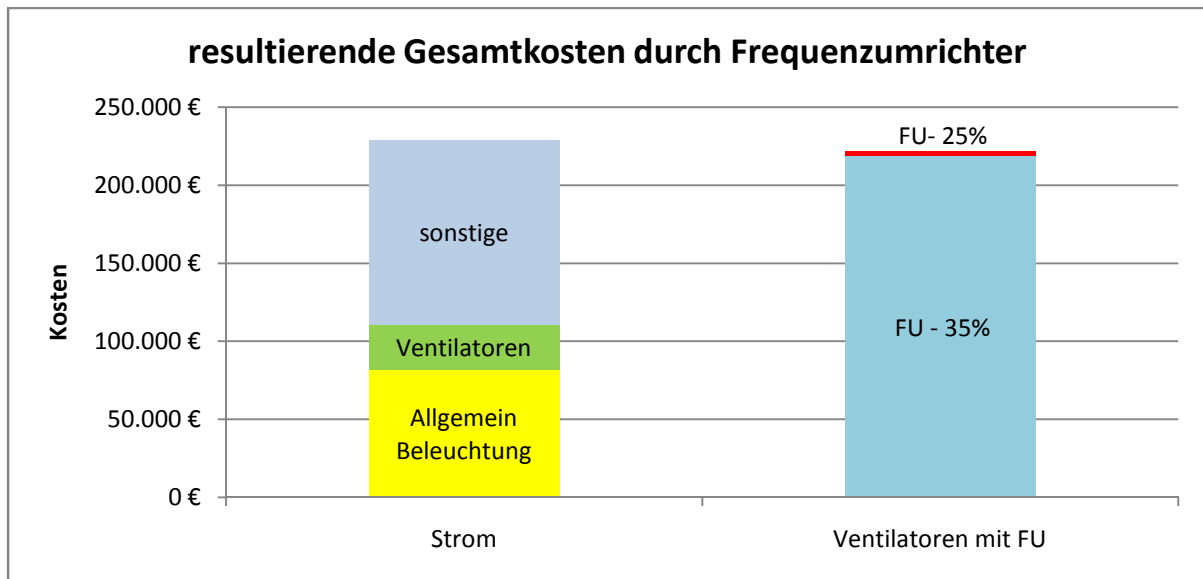


Abbildung 34: Kosteneinsparung durch Frequenzumrichter

Die Grobanalyse der Siemens AG aus dem Jahre 2006 sieht den Aufbau eines Zentrallüftungsgerätes im Schauspielhaus vor.⁷¹ Dabei ist zu prüfen, ob ein solches Gerät den spezifischen Anforderungen, unter Einflussnahme auf den Bühnenbetrieb, gerecht wird. Es ist zwar technisch durchaus möglich, einzelne Gebäudebereiche mit nur einem Klimagerät separat zu bedienen, jedoch erfordert ein Spielbetrieb in einem Theater weitaus komplexere Steuerungsmöglichkeiten die ggf. bei der Auswahl der Gerätevariante zu bedenken sind. Bei der Durchführung der Energiesparmaßnahmen ist auf die Besonderheiten des Gebäudebetriebs und der Gebäudenutzung Rücksicht zu nehmen und sind bestimmte Komfortbedingungen einzuhalten.⁷²

Das Installieren von Wärmerückgewinnungssystemen sowie der Wechsel der Ventilatoren ist in der Analyse der Siemens AG ebenso vorgesehen.

Die Klimatechnische- Anlage im Schauspielhaus ist wie im Abschnitt 1 bereits beschrieben, nach VDI 2067-1 lfd. Nr. 09.00; S.34 anhand der Bewertung der Rechnungsnutzungsdauer in einem guten anlagentechnischen Zustand. Die Aufstellung einer Wärmerückgewinnung sowie der Ausstattung der Ventilatoren zur Luftmengenregelung sollte durchgeführt werden, um Einsparpotentiale freizusetzen.

⁷¹SIEMENS GmbH. Energiespar-Contracting Städtische Theater Chemnitz. 2006; S.10

⁷²Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03; S.13

Im Opernhaus ist jedoch zu bedenken, dass durch diese Maßnahmen zwar eine nicht unerhebliche Kostenreduzierung realisiert werden kann, sich am eigentlichen Zustand der Anlagen damit aber keine wesentliche Änderung vollzieht. Die Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten ist hierbei nach VDI überschritten. Die Ausführung der Einzelmaßnahmen bringt im besten Fall einen Aufschub der Komplettsanierung, wobei es trotzdem jederzeit zum Ausfall einzelner Anlagenkomponenten kommen kann. Ein Ausfall eines Erhitzers im Klimagerät der Zuschaueranlage führt zum Komplettausfall der gesamten Anlage wodurch ein Spielbetrieb nicht möglich wäre. Das Risiko eines Ausfalls ganzer Klimageräte ist somit als erhöht einzustufen.

5.4 Einsparmaßnahmen an den Beleuchtungsanlagen

Im Rahmen der Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von energieverbrauchsrelevanten Produkten (ErP) 2009/125/EG wurden, durch den Europäischen Rat und das Parlament, Anforderungen an energiesparende Alternativen für Standardprodukte in der Beleuchtungstechnik definiert.⁷³ Die Richtlinie sieht dafür im gesamten EU- Raum die Kennzeichnung und Bereitstellung von Informationen sowie die Festlegung von Ökodesign- Parameter von Lampen in Bezug auf wesentliche Umweltaspekte vor. In diesem Zusammenhang ist eine der bekanntesten Maßnahmen das Ausphasen der Glühlampen. Um auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen angemessen zu reagieren, wurden von vielen Herstellern bereits entsprechend modifizierte „High Efficiency“ Varianten ihrer Produkte auf den Markt gebracht. Diese haben den grundlegenden Vorteil, dass meist auf einen Austausch von Fassungen verzichtet werden kann. In den erfolgten Auswertungen wurde sich dabei auf die Komponenten des „Lichtprogramm 2010“ von OSRAM bezogen.

Ergänzend wird dazu in Anlage 2 Tabelle 1 der EnEV die Beleuchtungsart in büroähnlichen Räumen und Gängen durch direkte bzw. indirekte Beleuchtung mit elektronische Vorschaltgeräte und stabförmigen Leuchtstofflampen beschrieben.⁷⁴ Des Weiteren wird in den Zonen der Nutzung:

⁷³Vgl. OSRAM GmbH. *Lichtprogramm ab 2010*. München : osram, 2010; Vorwort

⁷⁴Vgl. Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03. Bd. 1 lfd. Nr.23. S.23

- Besprechung, Sitzung, Seminar
- WC und Sanitärräume
- Sonstige Aufenthaltsräume
- Nebenflächen
- Verkehrsflächen
- Serverraum, Rechenzentrum

die Installation von Präsenzmeldern empfohlen.

5.4.1 Beispiel einer High Efficiency Leuchtstofflampe

Als Basis für den Vergleich dienen als Grundlage die Richtlinien der DIN EN 6008, die Anforderungen an die Arbeitsweise von zweiseitig gesockelten Leuchtstofflampen für Allgemeinbeleuchtung festlegt.⁷⁵

Referenzmodell für die folgende Beschreibung ist die in den Liegenschaften eingesetzte „OSRAM LUMILUX T8 Basic“ Leuchtstoffröhre mit 58W Anschlussleistung und G13 Sockel. Als Gegenüberstellung wird dazu eine aktuelle „OSRAM LUMILUX T8 EnergySaver (ES)“ Leuchtstofflampe mit 51W Anschlussleistung verwendet, die eine Zehn- prozentige Energieeinsparung vorweisen kann. Aufgrund der Weiterverwendbarkeit der bereits installierten Fassungen und der Kompatibilität mit konventionellen Vorschaltgeräten, ist diese eine schnell realisierbare und kostengünstige Möglichkeit zur Energiekostenreduzierung. Die zwei am häufigsten verwendeten Fassungen T8 (G13) und T5 (G5) können infolge der verschiedenen Lampendurchmesser nicht lampenübergreifend genutzt werden.

Eine um ca. das 2,4 fach gesteigerte Lebensdauer verbessert zusätzlich die Bilanz der Amortisationszeiten für entsprechende Lampen, wobei die Vorgaben der DIN EN 12464 zur Farbwiedergabequalität mit Werten zwischen R_a 80...90 eingehalten werden.⁷⁶ Eine Kombination mit Bewegungs- und Präsenzmeldern ist dazu durch OSRAM ausdrücklich empfohlen.

⁷⁵Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 60081:2010-12.

⁷⁶Vgl. OSRAM GmbH. *Lichtprogramm ab 2010*. München : osram, 2010. 199K001DE 04; S.5.17

5.4.2 Auswertung der Maßnahmen an den Beleuchtungsanlagen

Unter Anwendung aller dieser Maßnahmen in der Allgemeinbeleuchtung, lassen sich Einsparungen der Stromkosten zwischen 19.000,- und 27.000,- € im Jahr realisieren. Durch Austausch von Lampen mit entsprechend verbesserten Anschlusswerten können dabei Potentiale bis zu 19.000,- € freigesetzt werden. Eine weitere Absenkung der Stromkosten um ca. 4% (9000,- €) kann durch die Installation von Präsenzmeldern in den dafür vorgeschriebenen Gebäudebereichen erreicht werden.

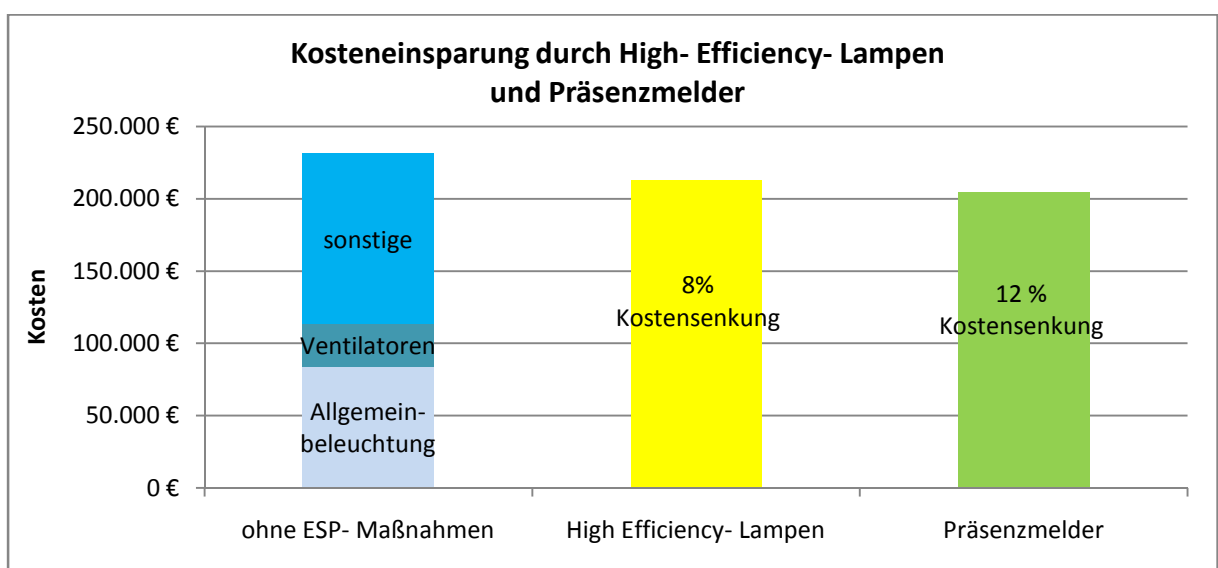


Abbildung 35: Kosteneinsparung durch High- Efficiency- Lampen

Ferner muss erwähnt werden, dass zusätzliche Potentiale vor allem in der Erschließung von neuen Beleuchtungstechnologien liegt. Dazu ist vor allem der Austausch der Kabel bzw. der Unterverteilungen im Opernhaus nötig, die bedingt durch den Rekonstruktionszeitraum, aus Aluminium bestehen. Hierfür sind die dazugehörigen Normen der „DIN VDE 0100-520: Errichtung elektrischer Betriebsmittel- Kabel, Leitungen und Stromschienen“ zu beachten. Auch ist zu bedenken, dass die in Abschnitt 3.4.1 erwähnten vorschriftsmäßigen Beleuchtungsstandards nach DIN EN 12464-1 eingehalten werden. Angesichts ihrer spezifischen physikalischen Eigenschaften können zum Beispiel auch aktuelle LED- Lampen nur eine lückenhafte Farbwiedergabeeigenschaft vorweisen. Überdies können LED- Lampen nicht mit der am Stromnetz anliegenden Wechselspannung betrieben werden, was zusätzliche Gleichrichter erfordert. Folglich muss im Vorfeld Klarheit bestehen, in welchem Umfang die vorzunehm-

menden Maßnahmen erfolgen sollen und mit welchen Mitteln diese, in Bezug auf die zu erwartenden Energieeinsparungen und unter Berücksichtigung der Raumanforderungen, durchzuführen sind.

5.5 Überblick der Einsparungen

Nach Gegenüberstellung der einzelnen Einsparpotentiale im unten dargestellten Diagramm, lässt sich gut erkennen, dass die mit Abstand größten Einsparungen im Bereich der RLT- Anlagen zu finden sind. Jedoch sind auch die zu erwartenden Ersparnisse der Beleuchtungsanlagen, mit Bezug auf den Maßnahmenaufwand, nicht zu unterschätzen.

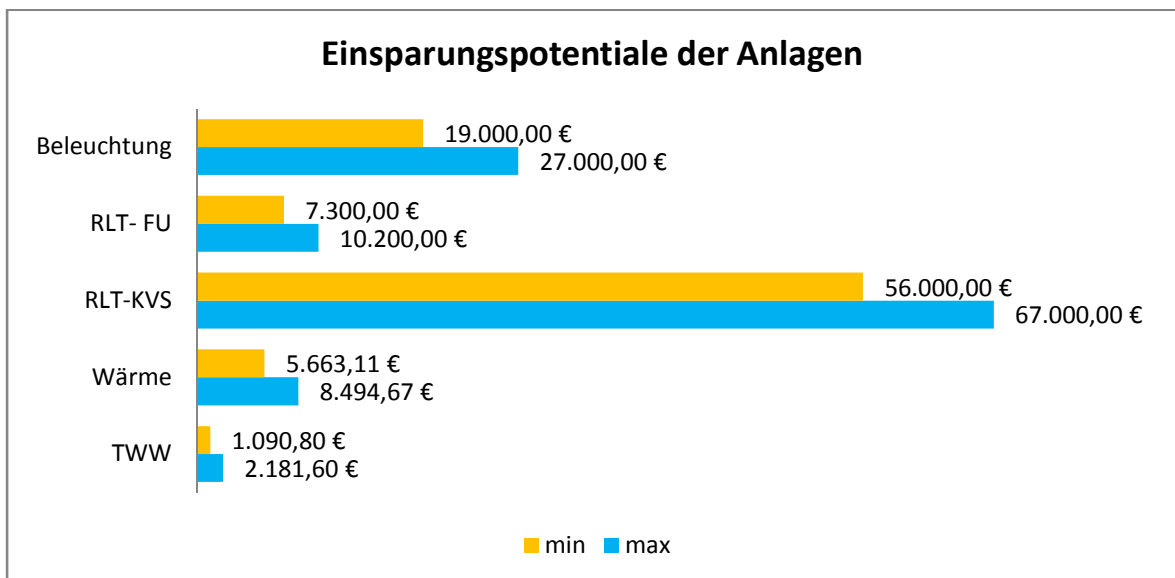


Abbildung 36: Einsparungspotentiale der Anlagen

Aus der Summierung der Einzelmaßnahmen ergibt sich jeweils ein Betrag für die minimal und einer für die maximal zu erwartenden Energieeinsparungen. In Bezug auf die jährlich anfallenden Gesamtverbrauchskosten von ca. 362.000,- € für beide Liegenschaften entsprechen diese Beträge Reduzierungen zwischen 25 und 32 %.

Die notwendigen Investitionen ergeben sich aus dem Sanierungsrückstau von ca. 2 Mio. Euro für beiden Liegenschaften in den nächsten 5 Jahren zu bewältigen ist.

Nach Überschlag der Kosten für den Ersatz der kompletten Anlagen in den relevanten Kostengruppen ist dieser Wert als durchaus realistisch einzuschätzen.

- Trinkwarmwassertechnik 150.000,- €
- Heizungstechnik 150.000,- €
- Raumluftechnik 1.250.000,- €
- Gebäudeleittechnik 300.000,- €
- Beleuchtungstechnik 150.000,- €

Mit diesem Betrag lassen sich die kompletten Anlagen in einem planbaren Rahmen durchführen. Nach Auswertung der Einsparpotentiale ergeben sich folgende Einsparungen gemessen an den Werten der Baselinekosten:

- max. Einsparung: 115.000,0 € p.a. (32 %)
- min. Einsparung: 89.000,0 € p.a. (25 %)

6 Wirtschaftlichkeitsvergleich

6.1 Grundlagen des Wirtschaftlichkeitsvergleich

Neben dem reinen Energiespar- Contracting und der Eigenbesorgung wird im Contracting-Leitfaden der dena das „Energiespar-Contracting mit baulicher Sanierung“ benannt. Darin heißt es: „durch die Bauverwaltung ist zu prüfen, ob die geplanten Maßnahmen in das Contracting-Projekt integriert werden können, und ob beispielsweise auch Haushaltsmittel dem Contractor als Baukostenzuschuss zur Verfügung gestellt werden können“⁷⁷

Da die vorangestellten Maßnahmen unter anderem die Zielstellung der baulichen Sanierung verfolgen, wird diese Variante in die nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsvergleiche einfließen. Betrachtungsgegenstand ist somit:

- Variante 1: Eigenbesorgung
- Variante 2: ESC mit Baukostenzuschuss
- Variante 3: ESC

Um alle drei Varianten sinnvoll vergleichen zu können, muss eine Verknüpfung an Schnittstellen zur Betrachtung möglich sein. Ebenso setzt die Beschreibung des Wirtschaftlichkeitsvergleiches des dena- Contracting Leitfadens das Bewerten eines konkreten Contracting- Angebotes mit der Eigenbesorgung voraus.⁷⁸

Als Basis der *Gegenüberstellung 1*, „ESC mit Baukostenzuschuss und Eigenbesorgung“, wird dazu das einheitliche Investitionsvolumen angesehen, um alle erforderlichen Erneuerungen der Anlagentechnik durchzuführen. Es wird angenommen, dass der Sanierungsstau vollständig beseitigt wird und auf den aktuellen Stand der Technik gebracht wird, da eine dahingehende Beeinflussung durch die Trägerschaft mithilfe der Eigenfinanzierung oder des Baukostenzuschusses sehr groß ist. Somit können die maximal möglichen Energiekostensenkungen angenommen werden.

Im Fall der *Gegenüberstellung 2*, „reines ESC und Eigenbesorgung“, wird unter Anwendung der SIEMENS GmbH Grobanalyse eine Investitionshöchstgrenze von 800.000,- € angenommen um die in Abschnitt 5 vorgenommenen Energiesparmaßnahmen durchzuführen, ohne die Anlagen jedoch komplett zu erneuern. Dieser Wert wurde nur als Vergleichsbasis angenom-

⁷⁷Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.15

⁷⁸Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03. S.29

men und muss nicht den späteren Investitionen des Contractors entsprechen. Da in diesem Fall die Investitionshöhe deutlich geringer ausfällt, kann nicht mit den maximal berechneten Einsparungen gerechnet werden.

Die verschiedenen Investitionsrechenmethoden werden in statische und dynamische Verfahren gegliedert. Dynamische Investitionsverfahren (z.B. Kapitalwert-, Annuitätenmethode, dynamische Amortisationsrechnung) gelten als präziser, da sie den zeitlichen Unterschied anfallender Kosten und Erträge durch Ab- bzw. Aufzinsung berücksichtigen. Die Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen wird überwiegend durch eine dynamische Amortisationsmethode beurteilt.

Als Grundlage dient dazu die Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums der Finanzen über Förderung von Vorhaben zur Erhöhung der Energieeffizienz einschließlich Nutzung im staatlichen Hochbau des Freistaates Sachsen (VwV- Energieeffizienz). Danach ist eine Wirtschaftlichkeit gegeben, wenn „die Amortisation bis zur Grenze der Nutzungsdauer einer technischen Anlage erfolgt. Sofern folgende Richtwerte für die maximale Amortisationsdauer der Mehrkosten nicht überschritten werden, „...gilt der Nachweis der Wirtschaftlichkeit bei technischen Anlagen nach 20 Jahren als erbracht.“⁷⁹

Dynamische Amortisationsmethode

Unter Anwendung der dynamischen Amortisationsrechnung, in Anlehnung an VDI 6025, wird ein Investitionsvorhaben durch Berechnung der Amortisationszeit beurteilt. Diese beschreibt jene Zeitdauer, die vergeht bis der ursprüngliche Kapitaleinsatz (=Anschaffungsausgabe) aus den Einnahmeüberschüssen unter Berücksichtigung der Verzinsung zurück gewonnen wurde.⁸⁰ Die Amortisationszeit dient zur Einstufung des Risikos und der Liquiditätsauswirkungen der Kapitalanlage.⁸¹ Dabei gilt, je kürzer die Amortisationsdauer desto geringer ist das Verlustrisiko und umso besser ist die Liquiditätslage. Eine Investition

⁷⁹Land Sachsen. VwV Energieeffizienz. Sachsen : s.n., 2008-02; S.3

⁸⁰Vgl. Schierenbeck, Henner und Wöhler, Claudia B. *Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre*. München : Oldenburg Wissenschaftsverlag, 2008. 17. Auflage. S.404

⁸¹Vgl. VDI 6025. *Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen*. Düsseldorf : Beuth Verlag, 1996; S.60

erweist sich als vorteilhaft, wenn die berechnete Amortisationsdauer t_A kleiner als deren Nutzungsdauer t_{Nist} .⁸²

Eine Amortisationsmethode in Anlehnung an die VDI 6025 ist für den angestrebten Vergleich beider Investitionsvorhaben ungeeignet. Aufgrund dessen erfolgt die Bewertung nicht durch eine dynamische Amortisationsrechnung sondern durch einen direkten Vergleich der Eigenfinanzierung und eines ESC mit Baukostenzuschuss mit Hilfe der Annuitätenmethode.

Für die folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird davon ausgegangen, dass der Contractor und die Stadt Chemnitz einen Kredit bei der Bank aufnehmen müssen, um ihre Vorhaben realisieren zu können. Dieser Kredit wird als Annuitätendarlehen vergeben.

Annuitätendarlehen

Dabei handelt es sich um ein Darlehen bei dem die zu zahlenden Raten über die gesamte Kreditlaufzeit konstant bleiben. Die Annuitätenrate besteht aus einem Tilgungs- und einem Zinsanteil. Der Zinssatz bleibt über einen vorher festgelegten Zeitraum konstant und kann dann neu verhandelt werden.

Die Berechnung der konstanten Annuitätenrate basiert auf folgenden Festlegungen:

- Max Kreditlaufzeit des Contractors
 - Gegenüberstellung 1: 15 Jahre
 - Gegenüberstellung 2: 13 Jahre
- Kreditlaufzeit Stadt Chemnitz: 17 Jahre
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre⁸³
- konstanter Zinssatz Contractor über die gesamte Kreditlaufzeit: 6 %
- konstanter Zinssatz Stadt Chemnitz nach BMF: 2,2 %
- Sanierungskosten: 2 Mio. €
- Preissteigerung der Energie: 3 % p.a.

⁸²Vgl. VDI 6025. *Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen*. Düsseldorf : Beuth Verlag, 1996; S.60

⁸³Land Sachsen. VwV Energieeffizienz. Sachsen : s.n., 2008-02. S.2

Da die SIEMENS GmbH in ihrer Grobanalyse aus 2006 auf ähnliche Ergebnisse kam, werden als optimal zu erreichende jährliche Energiekostensenkungen die ins Abschnitt 5.2 ermittelte Einsparung angenommen.

- Gegenüberstellung 1: 115.000,- € (32 %)
- Gegenüberstellung 2: 89.000,- € (25 %)

Neben den vorgestellten Festlegungen wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durch den variablen Faktor der tatsächlichen Einsparung p.a. und den damit verbundenen Energiekosten im 1. Jahr beeinflusst.

Festgelegte Vereinfachungen

Abgesehen von den schon erwähnten Festlegungen sind weitere Vereinfachungen getroffen worden. Da Angaben über den Restwert technischer Anlagen lediglich vage Annahmen sind, wird in der Berechnung auf eine Restwertbetrachtung verzichtet.

6.2 Gegenüberstellung 1 (ESC mit Baukostenzuschuss und Eigenbesorgung)

Wenn von den optimalen Voraussetzungen für die Annuitätendarlehen ausgegangen wird, ergeben sich unter Bezugnahme der Festlegungen aus Abschnitt 5.5 angegebenen Werte, die folgenden berechneten Kapitaldienste und kumulierten Kosten. Die Höhe des Baukostenzuschusses definiert sich über die Differenz des Kapitals, welches der Contractor über den Zeitraum von 15 Jahren am Kapitalmarkt aufnehmen kann, um die Anlagentechnik und seine eigenen Aufwendungen aus den Einsparungen zu refinanzieren und den notwendigen Gesamtkosten zur Behebung des Sanierungsstaus. Alle anfallenden Energiekosten sowie die Kapitaldienste des ersten Jahres wurden als Basisvergleichswert in der unteren Tabelle dargestellt. Die Kreditlaufzeit von 17 Jahren für die Stadt Chemnitz ergab dabei in Bezug auf die kumulierten Kosten die günstigste Investitionslaufzeit, wenn damit gerechnet wird, dass die geplanten jährlichen Energieeinsparungen, in Bezug auf die Baseline Daten, 32 % (115.000,- €) betragen. Die Differenz der kumulierten Kosten beider Varianten nach 20 Jahren fällt mit 360.000,- € relativ marginal aus.

(Anlage A1 und Anlage A2)

	Eigenbesorgung	ESC+BKZ
Einsparungen p.a. [%]	32,00%	32,00%
Einsparungen p.a. [€]	115.000,00 €	115.000,00 €
Kreditlaufzeit	17 a	17 a
Hauptleistungsphase		15 a
Gesamtkosten im 1.Jahr	247.000,00 €	362.000,00 €
Eingesetztes Kapital	2.000.000,00 €	1.000.000,00 €
Kapitaldienst p.a.	147.210,74 €	65.000,00 €
Kosten kumuliert	9.139.565,09 €	8.773.050,77 €

Tabelle 8: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 32 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)

Sinken die Energieeinsparungen durch fehlendes technisches Know-how oder Fehlplanungen um 7% auf einen Wert von 25% der Baselinedaten, so ergeben sich 1.030.000,- € kumulierte Mehrkosten gegenüber dem ESC mit Baukostenzuschuss.

(Anlage B1 und Anlage B2)

	Eigenbesorgung	ESC+BKZ
Einsparungen p.a. [%]	25,00%	32,00%
Einsparungen p.a. [€]	90.500,00 €	115.000,00 €
Kreditlaufzeit	17 a	17 a
Hauptleistungsphase		15 a
Gesamtkosten im 1.Jahr	271.700,00 €	362.000,00 €
Eingesetztes Kapital	2.000.000,00 €	1.000.000,00 €
Kapitaldienst p.a.	147.210,74 €	65.000,00 €
Kosten kumuliert	9.797.889,26 €	8.773.050,77 €

Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 25 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)

Werden hingegen nur 20% Einsparungen realisiert, beträgt die Differenz der kumulierten Kosten nach 20 Jahren Rechnungsnutzungsdauer für die Anlagen schon 1.510.000,- €.

(Anlage C1 und Anlage C2)

	Eigenbesorgung	ESC+BKZ
Einsparungen p.a. [%]	20,00%	32,00%
Einsparungen p.a. [€]	72.450,00 €	115.000,00 €
Kreditlaufzeit	17 a	17 a
Hauptleistungsphase		15 a
Gesamtkosten im 1.Jahr	290.000,00 €	362.000,00 €
Eingesetztes Kapital	2.000.000,00 €	1.000.000,00 €
Kapitaldienst p.a.	147.210,74 €	65.000,00 €
Kosten kumuliert	10.284.243,04 €	8.773.050,77 €

Tabelle 10: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 20 % Einsparungen (EB/ ESC+BKZ)

Daraus erkennt man, dass bereits geringe Abweichungen von den geplanten Einsparungen zu einer Erhöhung der kumulierten Projektkosten führen. Das ESC mit Baukostenzuschuss ist dabei in jedem Szenario in Bezug auf die Gesamtkosten einer Eigenbesorgung vorzuziehen.

6.3 Gegenüberstellung 2 (reines ESC und Eigenbesorgung)

Bei der erfolgten Berechnung ist in Bezug auf das eingesetzte Kapital nur ein anteiliger Austausch einzelner Anlagenkomponenten zugrundegelegt.

Wenn wieder von den optimalen Voraussetzungen für die Annuitätendarlehen ausgegangen wird, ergeben sich unter Bezugnahme der Festlegungen aus Abschnitt 5.5 angegebenen Werte die folgenden berechneten Kapitaldienste und kumulierten Kosten. Die Laufzeit von 9 Jahren bei Eigenbesorgung ergab dabei in Bezug auf die kumulierten Kosten den günstigste Investitionszeitraum, wenn damit gerechnet wird, dass die geplanten jährlichen Energieeinsparungen, in Bezug auf die Baselinedaten, 25 % (89.000,- €) betragen. Die Differenz der kumulierten Kosten beträgt in dieser Variantenkonstellation ca. 460.000,- €.

(Anlage D1 und Anlage D2)

	Eigenbesorgung	ESC
Einsparungen p.a. [%]	25,00%	25,00%
Einsparungen p.a. [€]	89.000,00 €	89.000,00 €
Kreditlaufzeit	9 a	
Hauptleistungsphase		13 a
Gesamtkosten im 1.Jahr	273.000,00 €	273.000,00 €
Eingesetztes Kapital	1.000.000,00 €	1.000.000,00 €
Kapitaldienst p.a.	100.462,27 €	65.000,00 €
Kosten kumuliert	8.239.772,68 €	7.777.955,44 €

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 25% Einsparungen (EB/ ESC)

Falls sich dieser Einsparungswert durch diverse Gründe nicht erzielen lässt, steigt die Differenz der Gesamtkosten auf ca. 900.000,- € nach einem Zeitraum von 20 Jahren.

(Anlage E1 und Anlage E2)

	Eigenbesorgung	ESC
Einsparungen p.a. [%]	20,00%	25,00%
Einsparungen p.a. [€]	72.500,00 €	89.000,00 €
Kreditlaufzeit	9 a	
Hauptleistungsphase		13 a
Gesamtkosten im 1.Jahr	290.000,00 €	273.000,00 €
Eingesetztes Kapital	1.000.000,00 €	1.000.000,00 €
Kapitaldienst p.a.	100.462,27 €	65.000,00 €
Kosten kumuliert	8.670.236,08 €	7.777.955,44 €

Tabelle 12: Wirtschaftlichkeitsvergleich bei 20% Einsparungen (EB/ ESC)

Wie zu erwarten war, wirken sich geringe Verluste wieder in nicht unwesentlichen Größenordnungen auf die kumulierten Kosten aus.

6.4 Nutzwertanalyse

Ein direkter monetärer Wirtschaftlichkeitsvergleich der drei Varianten durch die in Abschnitt 5.1 beschriebenen Gründe erscheint nicht sinnvoll. Um dennoch eine Gegenüberstellung zu ermöglichen, wurde dazu eine Nutzwertanalyse vorgenommen. Nutzwertanalysen sind laut den Leitfäden der „dena“ und des „Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz“ ein adäquates Mittel für die nichtmonetäre, qualitative Analyse der ESC Varianten.⁸⁴ Die einzelnen Bewertungskriterien werden dazu mit einer Gewichtung ausgestattet, die ihrer Wertigkeit im gesamten Projekt entsprechen. Die Bewertung der Kriterien erfolgt dann über eine Punktevergabe zwischen 1...100 Punkten. Anschließend werden die Punkte mit der Gewichtung addiert um daraus eine Summe als Projekt- Vergleichsbasis zu schaffen. Dieser Methode ist eine gewisse subjektive Beeinflussung der Wertigkeit und der Punktevergabe durch den Ersteller nicht abzusprechen, wodurch die Aussagefähigkeit der Vergleichszahlen kritisch betrachtet werden muss. Die in diesem Zusammenhang durchgeführte Nutzwertanalyse soll dahingehend nur als Ergänzung zu den vorangegangenen Erkenntnisse dienen. Die Komplette Analyse ist in *Anlage Fzu* finden.

⁸⁴Vgl. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03; S.27

Die Auswertung der Nutzwertanalyse ergab von 10.000 erreichbaren Punkten folgende Werte:

	<i>Eigenregie</i>	<i>ESC + BKZ</i>	<i>reines ESC</i>
Nutzen	5150	8300	6150

Abbildung 37: Ergebnisse der Nutzwertanalyse

Das ESC mit Baukostenzuschuss ist somit durch das Verfahren der Nutzwertanalyse als optimalste Variante selektiert worden. Unter dem Gesichtspunkt der nichtmonetären Betrachtung ist das reine ESC der Eigenregie vorzuziehen.

7 Zusammenfassung

Nach Bewertung dieser Betrachtungen lässt sich das Ergebnis der kumulierten Kosten hauptsächlich nur über das Volumen der Einsparungen, gemessen an den Baselinekosten, beeinflussen. Ziel sollte es somit sein, die Menge der tatsächlichen Einsparungen denen der veranschlagten maximalen Einsparungen möglichst nahe zu bringen. Um dieses Ziel zu realisieren, ist das Instrument „Einspargarantie“ des Energiespar- Contracting wesentlich hervorzuheben. Dieses ist ein signifikanter Unterschied zur Lösung in Eigenregie, da dadurch die Einsparungen im voraus auf einen bestimmten Wert festgesetzt und durch den Contractor garantiert werden. Wird diese bestimmte Einsparung nicht durch den Contractor erreicht, gleicht eine entsprechende Kürzung des Contractor- Entgeltes diese Differenz aus. Das Risiko, die jährliche Energieeinsparung auf das vorausgesetzte Niveau zu bringen, verlagert sich damit vollständig auf den Contractor.

In Abschnitt 6.1 wurde bereits erwähnt, dass bei der Durchführung eines Energiespar- Contractings ohne Baukostenzuschuss für die Gebäude Opernhaus und Schauspielhaus anhand der Jahresenergiekosten mit einer Investitionssumme von ca. 800.000, - Euro zu rechnen ist. Dafür können einzelne Maßnahmen, wie ein Austausch der Ventilatoren oder sogar eine Wärmerückgewinnung in den RLT- Anlagen vorgenommen werden. Auch die Erneuerung der MSR- Technik und der Austausch von Beleuchtungsanlagen in einzelnen Bereichen ist damit möglich. Erfahrungsgemäß bezieht sich die Investition allerdings nur auf Anlagenkomponenten mit einem guten Verhältnis der Einsparpotentialen zu den zu tätigenen Investitionen. Da die Einsparungsübersicht aus Abschnitt 5.5 verhältnismäßig geringe Kostensenkungen in den Bereichen der Trinkwarmwasser-, und Heizungstechnischen- Anlagen aufzeigt, kann an dieser Stelle auch von sehr geringen Investitionen seitens des Contractors ausgegangen werden. Unter dem Gesichtspunkt, dass der Contractor aus den erzielten Einsparungen alle Anlageninvestitionen und sonstige eigene Aufwendungen finanzieren muss, ist diesem Vorgehen wirtschaftlich vollkommen zuzustimmen. Es ist dann zu erwarten, dass bei Realisierung eines ESC, das Energieeinsparvolumen die in 5.5 errechneten minimalen Einsparungen von 89.000,- € p.a. tangieren wird. Aufgrund des sehr hohen Investitionsbedarfes für die Erneuerung der Anlagentechnik in den Städtischen Theater Chemnitz bietet das Energiespar- Contracting allein stehend allerdings nicht genügend Refinanzierungsvolumen durch die Energieeinsparungen.

Um den Sanierungsstau komplett zu beheben, eignet sich eine Eigenbesorgung oder ein ESC mit Baukostenzuschuss. Dafür müssen allerdings entsprechendes Kapital durch die Stadt bereitgestellt werden.

Wie beim ESC mit Baukostenzuschuss wird auch beim reinen ESC das Investitionsrisiko vollkommen ausgelagert, entsprechende Vertragsausgestaltung können viele der technischen und wirtschaftlichen Risiken auf den Contractor übertragen werden. Erfolgt eine Ausführung in Eigenregie, können sich die Städtischen Theater Chemnitz auch das Know-how im Management- und Technikbereich des Contractors zu Nutze machen, um ein für beide Seiten optimales Ergebnis der Anlagen- und Kostensituation zu schaffen. Die durch ein ESC auftretenden organisatorischen und planungstechnischen Aufwendungen im Zeitraum der Vorbereitungsphase stellen dabei natürlich eine Mehrbelastung der eigenen Kapazitäten dar. Dazu wurde aber am 25.03.2009 zwischen der Städtischen Theater Chemnitz gGmbH und der SAENA GmbH ein Kooperationsvertrag für ein Energiespar-Contracting geschlossen. Auf der Grundlage des Vertrages ist für das Vorhaben Energiespar- Contracting die Projektentwicklung sowie das Ausschreibungs- und Vergabemanagement durchzuführen. Aus den in Abschnitt 2.5.3 benannten Gründen, ist für eine erfolgreiche Umsetzung der Vorbereitungsphase das zweistufige ESC zu nutzen. In Bezug auf die in der VDI 2067-1 angegebenen Rechnungsnutzungsdauern sind viele der Anlagenkomponenten schon jetzt ersatzbedürftig. Erfolgt nur der teilweise Austausch von ausgewählten Komponenten, kann nicht garantiert werden, wie lange und ob die entsprechenden Anlagen funktionstüchtig bleiben. Mit einem um das vielfache erhöhten Risiko eines komponentenübergreifenden Ausfalls muss auf jeden Fall gerechnet werden, da der Contractor nur Wartung- und Instandhaltungsaufgaben für die im Vertrag festgesetzten Komponenten übernimmt.

8 Thesen zum Energiespar- Contracting

- Das ESC mit Baukostenzuschuss ist im konkreten Fall die beste Variante um den hohen Sanierungsbedarf der Anlagentechnik komplett zu beseitigen. Kann kein Baukostenzuschuss bereitgestellt werden, bietet das ESC die Möglichkeit, wichtige Erneuerungsmaßnahmen in ausgewählten Teilbereichen durchzuführen.
- Um die vollen Potentiale eines ESC freizusetzen und gleichzeitig Fehler bei der Durchführung zu vermeiden, ist es wichtig das zweistufige Verfahren zur Projektentwicklung zu nutzen.
- Das wesentliche Herausstellungsmerkmal des ESC ist die vertraglich geregelte Einspargarantie über den Contracting- Zeitraum.
- Im ESC kann auf Personal des Contractors und dessen Planungs- und Anlagentechnisches Know-how zurückgegriffen werden. Des Weiteren übernimmt der Contractor alle Risiken die mit der entsprechenden Anlagenaufstellung und –nutzung verbunden sind.
- Eine Anlagenerneuerung in Eigenregie, mit dem Ziel der Energiekosteneinsparung, wird durch drei Parameter beeinflusst:
 - o die Bereitschaft der Bauverwaltung entsprechende liquide Mittel bereitzustellen
 - o der Übernahme der entsprechenden Risiken während der Projektierung und Nutzung der Anlagen
 - o dem Vorhandensein der notwendigen personellen Fachkompetenz in Qualität und Quantität
- Da der Contractor sich verpflichtet, über den Zeitraum der normalen Gewährleistungspflicht hinweg die Wartung- und Instandhaltungsmaßnahmen der eingebrachten Anlagenkomponenten und Maßnahmen zu übernehmen, sind in Analogie zur steigenden Vertragslaufzeit die Anschaffungen als nachhaltiger anzusehen.
- Das Personal der Theater Chemnitz muss als Schnittstelle zwischen Contractor und Auftraggeber in die eingebrachten Anlagen eingeführt werden, um nach Ablauf der Hauptleistungsphase deren ordnungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten

9 Literaturverzeichnis

1. DIN 267-1. *Kosten im Bauwesen: Hochbau Teil 1*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2008-12.
2. Deutsche Energie Agentur GmbH (dena). Leitfaden Energiespar- Contracting. *Arbeitshilfen für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar- Contracting in Bundesliegenschaften*. 2003-10. 03.
3. Bundesministerium für Finanzen. Personalkostensätze/ Sachpauschale/ Kalkulationszinssätze. *VV-BHO*. 2009-02.
4. Bundesverkehrsministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. *Erfahrungsbericht Öffentlich- Private- Partnerschaften*. 2007.
5. Recknagel, Sprenger, Schramek. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. s.l. : Oldenburg Industrieverlag, 07/08 lfd Nr. 84.
6. DIN EN 60081:2010-12. Zweiseitig gesockelte Leuchtstofflampen - Anforderungen an die Arbeitsweise
7. Dipl.-Ing. Seefeldt, Friedrich. *Leitfaden für Energiespar-Contracting*. s.l. : Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2003-05.
8. Schierenbeck, Henner und Wöhler, Claudia B. *Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre*. München : Oldenburg Wissenschaftsverlag, 2008. 17. Auflage.
9. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln. *Energiereport IX- Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Köln : Prognos AG, 2005.
10. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. *Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes*. 2008-6.
11. VDI 6025. *Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen*. Düsseldorf : Beuth Verlag, 1996.
12. Europäische Union. Richtlinie zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. *RICHTLINIE 2009/125/EG*. 2009 -10. 285/10.
13. Institut für Erhaltung und Modernisierung. *Lebensdauer von Raumlufthechnischen Anlagen*. 12/2006.
14. OSRAM GmbH. *Lichtprogramm ab 2010*. München : osram, 2010. 199K001DE 04.
15. Stadt Chemnitz. *Kulturentwicklungsplan der Stadt Chemnitz 2004 - 2012*. Chemnitz : s.n., 2004-3.

16. www.enev-online.de. [Online] Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet Medien, 28.02.2011. http://www.enevonline.de/enev/enev2012_epbd2010_interview_dr._stock_bmvbs_101027.htm#7._Frage.
17. VDI 3814- Gebäudeleittechnik (GLT). 1-5. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-11.
18. DIN 18386. *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Gebäudeautomation*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010-04.
19. DIN 1946-6. *Raumluftechnik- Lüftung von Wohngebäuden- Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-10.
20. DIN 5035-3. *Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2006-07.
21. DIN 6169-2. *Farbwiedergabe; Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1976-02.
22. DIN EN 12464-1. *Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-09.
23. DIN EN 12792. *Lüftung von Gebäuden - Symbole, Terminologie und graphische Symbole; Deutsche Fassung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2004-01.
24. DIN EN 13779. *Raumluftechnik- Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009-10.
25. DIN EN 1838. *Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung; Deutsche Fassung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1999-07.
26. VDI 2067-1. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin : beuth Verlag GmbH, 2000-09.
27. DIN 1988-3 . *Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1988-12.
28. AMEV- Gebäudeautomation. Berlin : s.n., 2005 lfd Nr. 87.
29. AMEV- RLT Anlagenbau. *Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude*. Berlin : s.n., 2004. lfd. Nr.: 85.
30. VDI 2067-4. *Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen/ Wasserversorgungsanlagen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1982-4.
31. Kompetenzzentrum-Contracting. [Online] dena GmbH, 20. 02 2011. [Zitat vom: 28. 02.

- 2011.] <http://www.kompetenzzentrum-contracting.de>.
32. Ullrich, R. Technischer Direktor Städtische Theater Chemnitz.
 33. Städtische Theater Chemnitz. Energieverbrauchs und -kosten Baseline. 2010-03.
 34. SIEMENS GmbH. Energiespar-Contracting Städtische Theater Chemnitz. 2006.
 35. Dipl.- Ing. Kluge, U. *Contracting_Beispiele_27 09 2010*. [Präsentation] Dresden : s.n., 2010.
 36. Dr. Stiepelmann, Heiko. *Finanzierung von PPP- Hochbauprojekten*. Berlin : Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., 2006-11.
 37. AMEV. *Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden*. 2006 : s.n., 2006.
 38. Friedrichs, Folkerts/. *Hasugeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik*. Würzburg : Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, 1996.
 39. Schneider, Wolfgang. *Praxiswissen Digitale Gebäudeautomation*. Braunschweig/ Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1997.
 40. Land Sachsen. VwV Energieeffizienz. Sachsen : s.n., 2008-02.
 41. Europäisches Parlament. EnEV. *Energieeinsparverordnung*. 2009-03. Bd. 1 lfd. Nr. 23.
 42. VDI 2067- 12. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2000-06.
 43. DIN V 18599-1. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung . Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007-02.
 44. Eichmann, Rudolf A. Grundlagen der Klimatechnik. Heidelberg : C.F. Müller Verlag, 1998. 3-7880-7637-2.
 45. Dipl.- Ing Kluge, Uwe. mündliche Information zum Thema.
 46. VDI 3803-1. Raumluftechnik - Zentrale Raumluftechnische Anlagen - Bauliche und technische Anforderungen . Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2010-02.

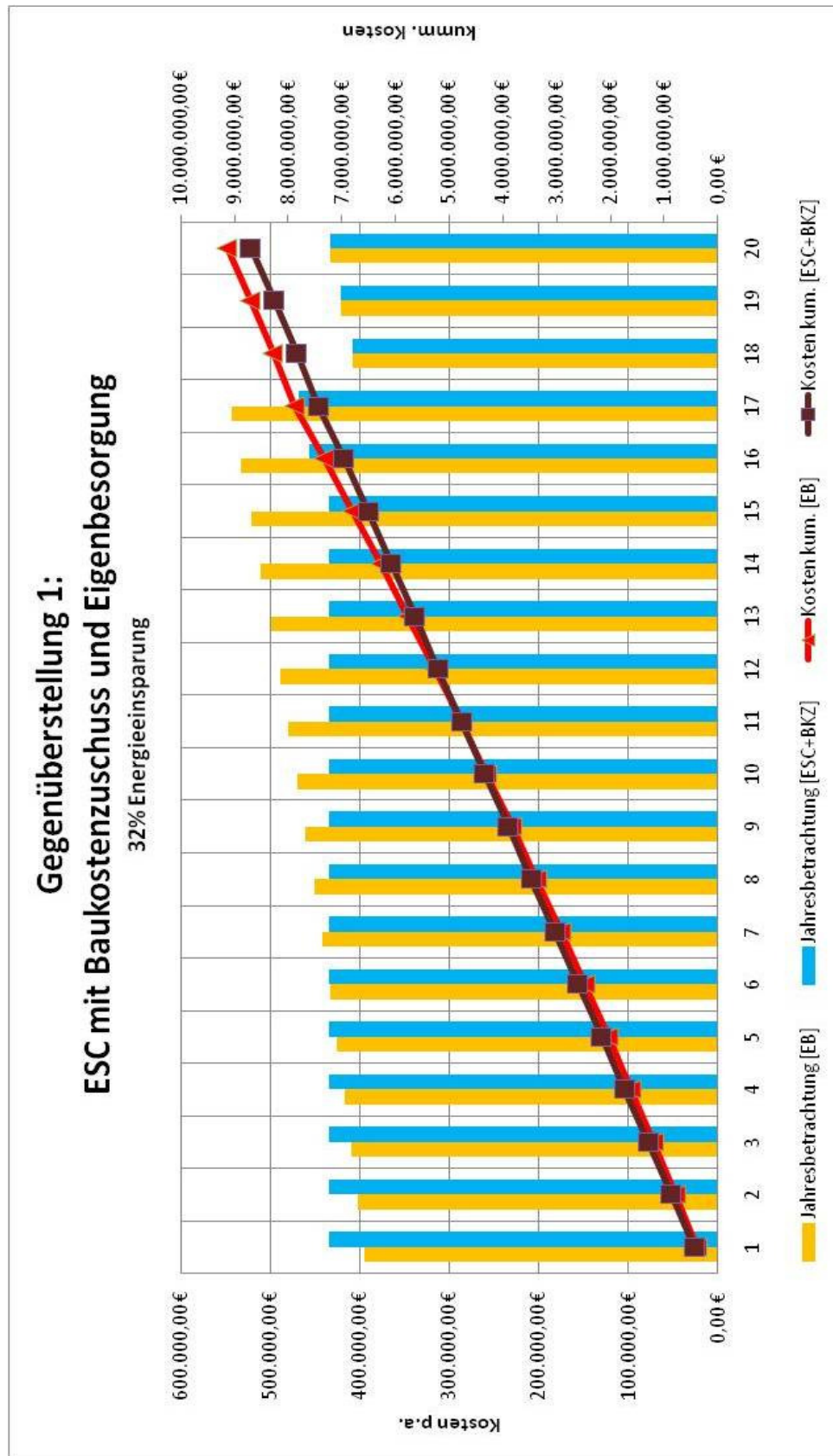
10 Anlagenverzeichnis

Anlage A1:	Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle	X
Anlage A2:	Gegenüberstellung 1/ Diagramm	XI
Anlage B 1:	Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle	XII
Anlage B 2:	Gegenüberstellung 1/ Diagramm	XIII
Anlage C 1:	Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle	XIV
Anlage C 2:	Gegenüberstellung 1/ Diagramm	XV
Anlage D 1:	Gegenüberstellung 2 / Wertetabelle	XVI
Anlage D 2:	Gegenüberstellung 2/ Diagramm	XVII
Anlage E 1:	Gegenüberstellung 2/ Wertetabelle	XVIII
Anlage E 2:	Gegenüberstellung 2/ Diagramm	XIX
Anlage F:	Wertetabelle der Nutzwertanalyse	XX

Anlage A1: Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle

Eigenbesorgung				Energiespar- Contracting + Baukostenzuschuss			
Jahr	KD	EB	EK pa. [EB]	Jahresbetrachtung [EB]	Kosten kum. [EB]	KD BKZ	EK pa. [ESC+BKZ] Jahresbetrachtung [ESC+BKZ] Kosten kum. [ESC+BKZ]
1	147.210,74 €	247.000,00 €	394.210,74 €	394.210,74 €	394.210,74 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 434.000,00 €
2	147.210,74 €	254.410,00 €	401.620,74 €	401.620,74 €	795.831,48 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 868.000,00 €
3	147.210,74 €	262.042,30 €	409.253,04 €	409.253,04 €	1.205.084,52 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 1.302.000,00 €
4	147.210,74 €	269.903,57 €	417.114,31 €	417.114,31 €	1.622.198,83 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 1.736.000,00 €
5	147.210,74 €	278.000,68 €	425.211,42 €	425.211,42 €	2.047.410,25 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 2.170.000,00 €
6	147.210,74 €	286.340,70 €	433.551,44 €	433.551,44 €	2.480.961,69 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 2.604.000,00 €
7	147.210,74 €	294.930,92 €	442.141,66 €	442.141,66 €	2.923.103,34 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 3.038.000,00 €
8	147.210,74 €	303.778,84 €	450.989,59 €	450.989,59 €	3.374.092,93 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 3.472.000,00 €
9	147.210,74 €	312.892,21 €	460.102,95 €	460.102,95 €	3.834.195,88 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 3.906.000,00 €
10	147.210,74 €	322.278,98 €	469.489,72 €	469.489,72 €	4.303.685,60 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 4.340.000,00 €
11	147.210,74 €	331.947,35 €	479.158,09 €	479.158,09 €	4.782.843,68 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 4.774.000,00 €
12	147.210,74 €	341.905,77 €	489.116,51 €	489.116,51 €	5.271.960,19 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 5.208.000,00 €
13	147.210,74 €	352.162,94 €	499.373,68 €	499.373,68 €	5.771.333,87 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 5.642.000,00 €
14	147.210,74 €	362.727,83 €	509.938,57 €	509.938,57 €	6.281.272,44 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 6.076.000,00 €
15	147.210,74 €	373.609,66 €	520.820,40 €	520.820,40 €	6.802.092,84 €	72.000,00 €	362.000,00 € 434.000,00 € 6.510.000,00 €
16	147.210,74 €	384.817,95 €	532.028,69 €	532.028,69 €	7.334.121,53 €	72.000,00 €	384.817,95 € 456.817,95 € 6.966.817,95 €
17	147.210,74 €	396.362,49 €	543.573,23 €	543.573,23 €	7.877.694,76 €	72.000,00 €	396.362,49 € 468.362,49 € 7.435.180,44 €
18		408.253,37 €	408.253,37 €	408.253,37 €	8.285.948,13 €		408.253,37 € 408.253,37 € 7.843.433,81 €
19		420.500,97 €	420.500,97 €	420.500,97 €	8.706.449,09 €		420.500,97 € 420.500,97 € 8.263.934,77 €
20		433.116,00 €	433.116,00 €	433.116,00 €	9.139.565,09 €		433.116,00 € 433.116,00 € 8.697.050,77 €

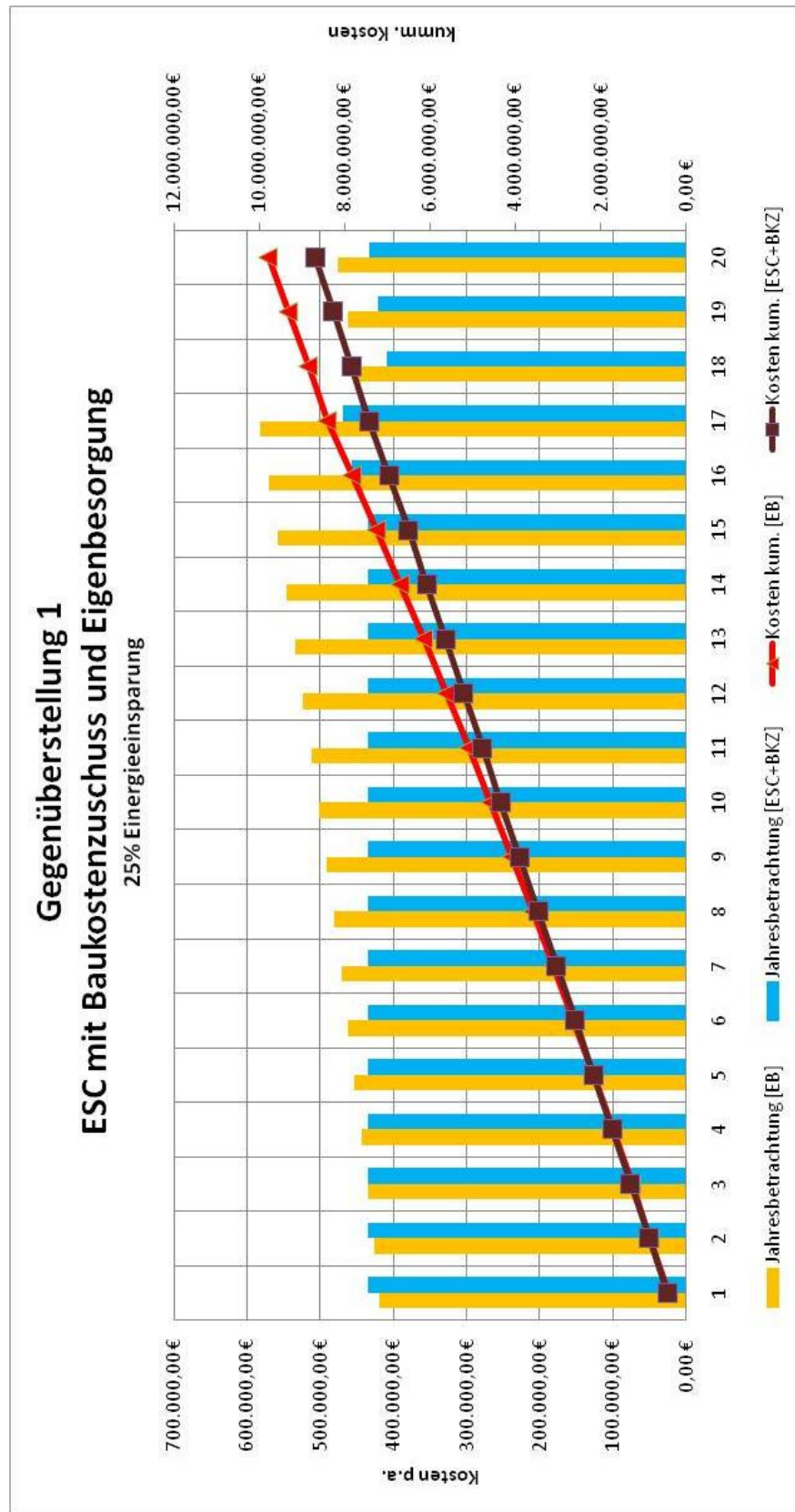
Anlage A2: Gegenüberstellung 1/ Diagramm



Anlage B 1: Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle

Eigenbesorgung					Energiespar- Contracting + Baukostenzuschuss				
Jahr	KD EB	EK pa. [EB]	Jahresbetrachtung [EB]	Kosten kum. [EB]	KD BKZ	EK pa. [ESC+BKZ]	Jahresbetrachtung [ESC+BKZ]	Kosten kum. [ESC+BKZ]	
1	147.210,74 €	271.500,00 €	418.710,74 €	418.710,74 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	434.000,00 €	
2	147.210,74 €	279.645,00 €	426.855,74 €	845.566,48 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	868.000,00 €	
3	147.210,74 €	288.034,35 €	435.245,09 €	1.280.811,57 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	1.302.000,00 €	
4	147.210,74 €	296.675,38 €	443.886,12 €	1.724.697,69 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	1.736.000,00 €	
5	147.210,74 €	305.575,64 €	452.786,38 €	2.177.484,08 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	2.170.000,00 €	
6	147.210,74 €	314.742,91 €	461.953,65 €	2.639.437,73 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	2.604.000,00 €	
7	147.210,74 €	324.185,20 €	471.395,94 €	3.110.833,67 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.038.000,00 €	
8	147.210,74 €	333.910,75 €	481.121,50 €	3.591.955,16 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.472.000,00 €	
9	147.210,74 €	343.928,08 €	491.138,82 €	4.083.093,98 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.906.000,00 €	
10	147.210,74 €	354.245,92 €	501.456,66 €	4.584.550,64 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	4.340.000,00 €	
11	147.210,74 €	364.873,30 €	512.084,04 €	5.096.634,68 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	4.774.000,00 €	
12	147.210,74 €	375.819,50 €	523.030,24 €	5.619.664,91 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	5.208.000,00 €	
13	147.210,74 €	387.094,08 €	534.304,82 €	6.153.969,73 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	5.642.000,00 €	
14	147.210,74 €	398.706,90 €	545.917,64 €	6.699.887,38 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	6.076.000,00 €	
15	147.210,74 €	410.668,11 €	557.878,85 €	7.257.766,23 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	6.510.000,00 €	
16	147.210,74 €	422.988,15 €	570.198,89 €	7.827.965,12 €	72.000,00 €	384.817,95 €	456.817,95 €	6.966.817,95 €	
17	147.210,74 €	435.677,80 €	582.888,54 €	8.410.853,66 €	72.000,00 €	396.362,49 €	468.362,49 €	7.435.180,44 €	
18		448.748,13 €	448.748,13 €	8.859.601,79 €		408.253,37 €	408.253,37 €	7.843.433,81 €	
19		462.210,58 €	462.210,58 €	9.321.812,37 €		420.500,97 €	420.500,97 €	8.263.934,77 €	
20		476.076,89 €	476.076,89 €	9.797.889,26 €		433.116,00 €	433.116,00 €	8.697.050,77 €	

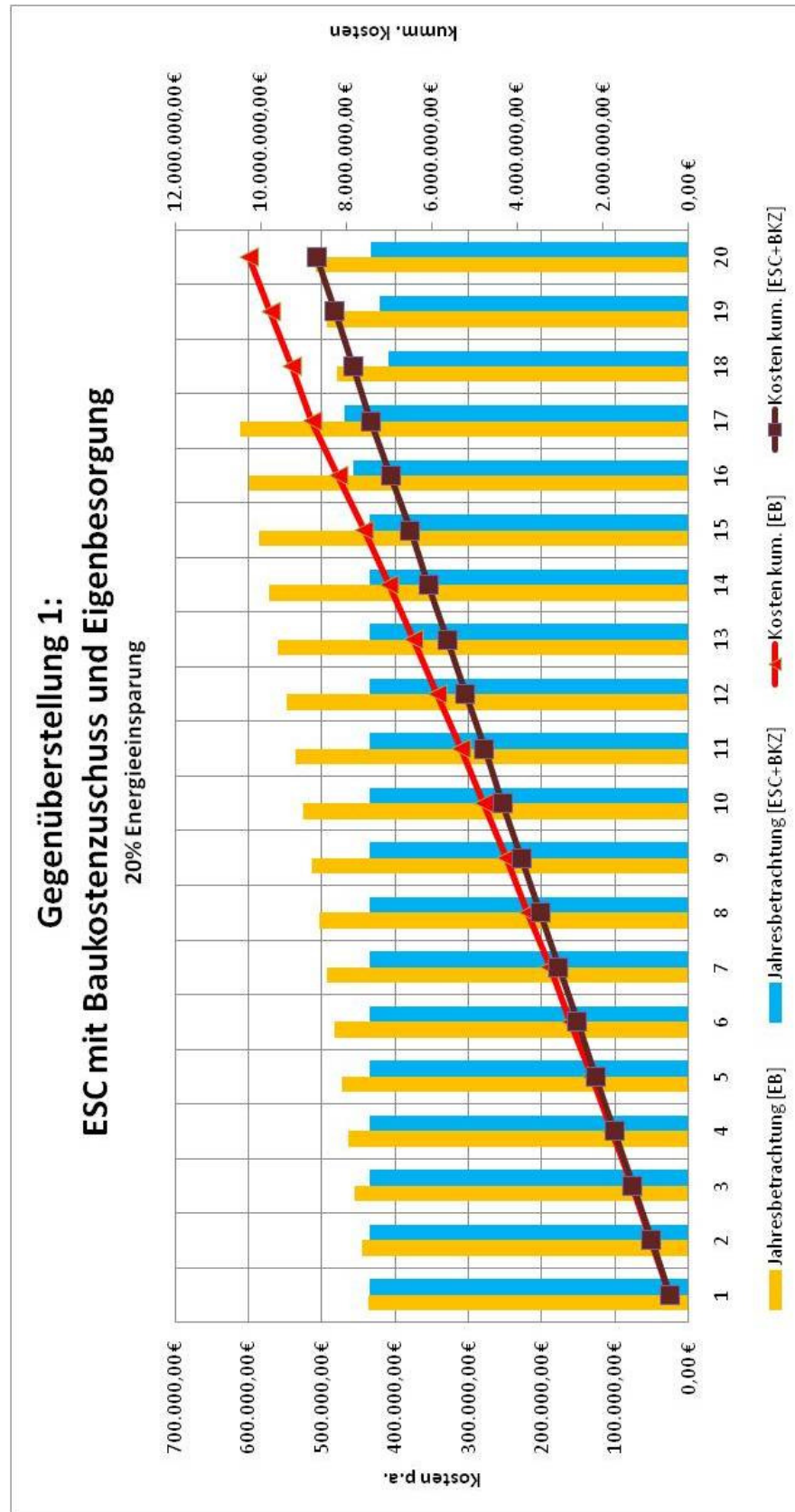
Anlage B 2: Gegenüberstellung 1/ Diagramm



Anlage C 1: Gegenüberstellung 1/ Wertetabelle

Eigenbesorgung					Energiespar- Contracting + Baukostenzuschuss				
Jahr	KD EB	EK pa. [EB]	Jahresbetrachtung [EB]	Kosten kum. [EB]	KD BKZ	EK pa. [ESC+BKZ]	Jahresbetrachtung [ESC+BKZ]	Kosten kum. [ESC+BKZ]	
1	147.210,74 €	289.600,00 €	436.810,74 €	436.810,74 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	434.000,00 €	
2	147.210,74 €	298.288,00 €	445.498,74 €	882.309,48 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	868.000,00 €	
3	147.210,74 €	307.236,64 €	454.447,38 €	1.336.756,86 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	1.302.000,00 €	
4	147.210,74 €	316.453,74 €	463.664,48 €	1.800.421,34 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	1.736.000,00 €	
5	147.210,74 €	325.947,35 €	473.158,09 €	2.273.579,43 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	2.170.000,00 €	
6	147.210,74 €	335.725,77 €	482.936,51 €	2.756.515,95 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	2.604.000,00 €	
7	147.210,74 €	345.797,55 €	493.008,29 €	3.249.524,23 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.038.000,00 €	
8	147.210,74 €	356.171,47 €	503.382,21 €	3.752.906,44 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.472.000,00 €	
9	147.210,74 €	366.856,62 €	514.067,36 €	4.266.973,80 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	3.906.000,00 €	
10	147.210,74 €	377.862,31 €	525.073,05 €	4.792.046,85 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	4.340.000,00 €	
11	147.210,74 €	389.198,18 €	536.408,92 €	5.328.455,78 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	4.774.000,00 €	
12	147.210,74 €	400.874,13 €	548.084,87 €	5.876.540,65 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	5.208.000,00 €	
13	147.210,74 €	412.900,35 €	560.111,09 €	6.436.651,74 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	5.642.000,00 €	
14	147.210,74 €	425.287,36 €	572.498,10 €	7.009.149,85 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	6.076.000,00 €	
15	147.210,74 €	438.045,98 €	585.256,72 €	7.594.406,57 €	72.000,00 €	362.000,00 €	434.000,00 €	6.510.000,00 €	
16	147.210,74 €	451.187,36 €	598.398,10 €	8.192.804,68 €	72.000,00 €	384.817,95 €	456.817,95 €	6.966.817,95 €	
17	147.210,74 €	464.722,98 €	611.933,73 €	8.804.738,40 €	72.000,00 €	396.362,49 €	468.362,49 €	7.435.180,44 €	
18		478.664,67 €	478.664,67 €	9.283.403,07 €		408.253,37 €	408.253,37 €	7.843.433,81 €	
19		493.024,61 €	493.024,61 €	9.776.427,69 €		420.500,97 €	420.500,97 €	8.263.934,77 €	
20		507.815,35 €	507.815,35 €	10.284.243,04 €		433.116,00 €	433.116,00 €	8.697.050,77 €	

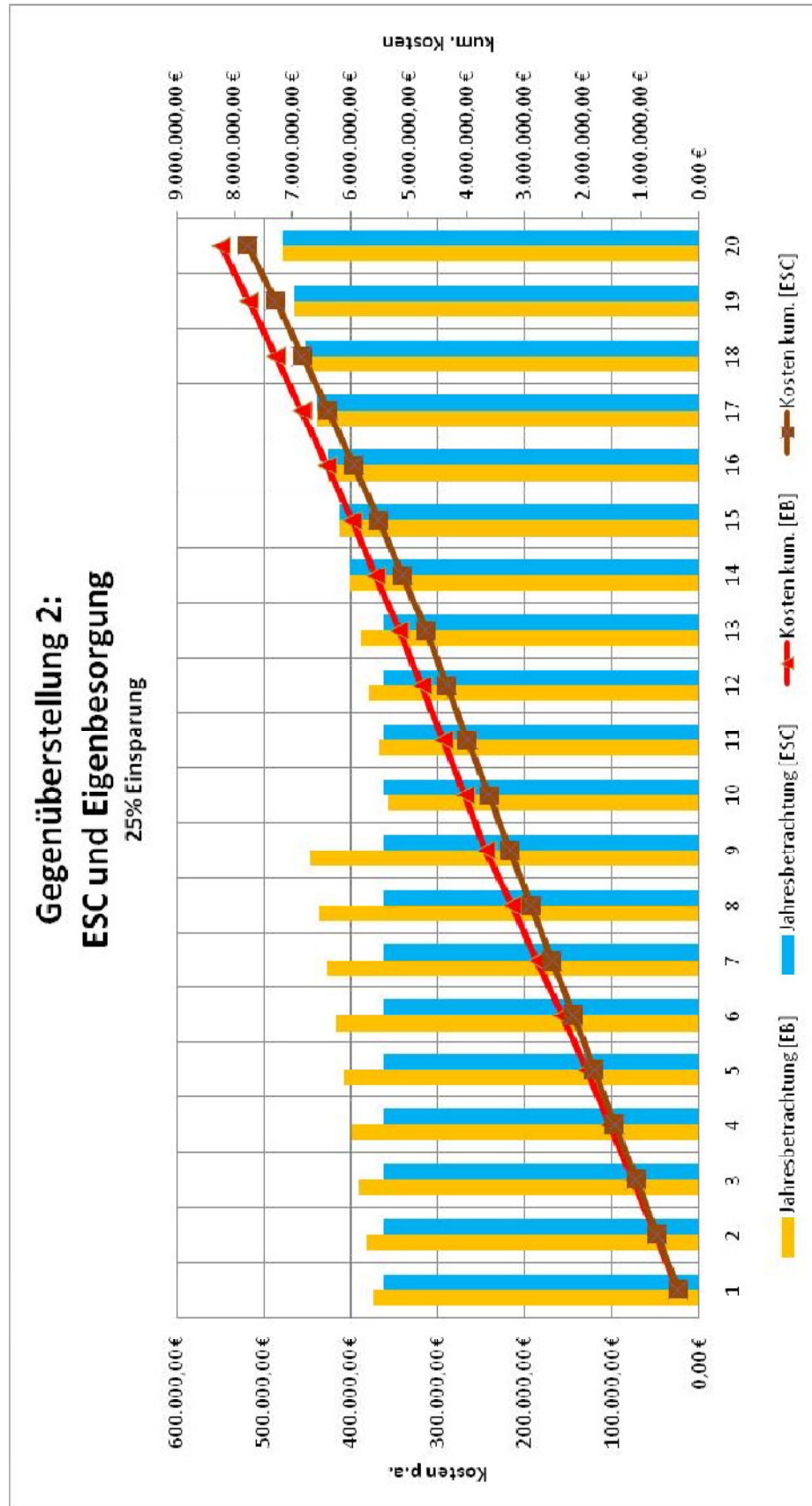
Anlage C 2: Gegenüberstellung 1/ Diagramm



Anlage D 1: Gegenüberstellung 2 / Wertetabelle

Eigenbesorgung					ESC			
Jahr	KD EB	EK pa. [EB]	Jahresbetrachtung [EB]	Kosten kum. [EB]	EK pa. [ESC]	Jahresbetrachtung [ESC]	Kosten kum. [ESC]	
1	100.462,27 €	273.000,00 €	373.462,27 €	373.462,27 €	362.000,00 €	362.000,00 €	362.000,00 €	
2	100.462,27 €	281.190,00 €	381.652,27 €	755.114,54 €	362.000,00 €	362.000,00 €	724.000,00 €	
3	100.462,27 €	289.625,70 €	390.087,97 €	1.145.202,52 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.086.000,00 €	
4	100.462,27 €	298.314,47 €	398.776,74 €	1.543.979,26 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.448.000,00 €	
5	100.462,27 €	307.263,91 €	407.726,18 €	1.951.705,43 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.810.000,00 €	
6	100.462,27 €	316.481,82 €	416.944,09 €	2.368.649,53 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.172.000,00 €	
7	100.462,27 €	325.976,28 €	426.438,55 €	2.795.088,08 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.534.000,00 €	
8	100.462,27 €	335.755,57 €	436.217,84 €	3.231.305,91 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.896.000,00 €	
9	100.462,27 €	345.828,23 €	446.290,50 €	3.677.596,42 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.258.000,00 €	
10		356.203,08 €	356.203,08 €	4.033.799,50 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.620.000,00 €	
11		366.889,17 €	366.889,17 €	4.400.688,67 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.982.000,00 €	
12		377.895,85 €	377.895,85 €	4.778.584,52 €	362.000,00 €	362.000,00 €	4.344.000,00 €	
13		389.232,72 €	389.232,72 €	5.167.817,24 €	362.000,00 €	362.000,00 €	4.706.000,00 €	
14		400.909,70 €	400.909,70 €	5.568.726,94 €	400.909,70 €	400.909,70 €	5.106.909,70 €	
15		412.936,99 €	412.936,99 €	5.981.663,94 €	412.936,99 €	412.936,99 €	5.519.846,70 €	
16		425.325,10 €	425.325,10 €	6.406.989,04 €	425.325,10 €	425.325,10 €	5.945.171,80 €	
17		438.084,86 €	438.084,86 €	6.845.073,90 €	438.084,86 €	438.084,86 €	6.383.256,66 €	
18		451.227,40 €	451.227,40 €	7.296.301,30 €	451.227,40 €	451.227,40 €	6.834.484,06 €	
19		464.764,23 €	464.764,23 €	7.761.065,53 €	464.764,23 €	464.764,23 €	7.299.248,29 €	
20		478.707,15 €	478.707,15 €	8.239.772,68 €	478.707,15 €	478.707,15 €	7.777.955,44 €	

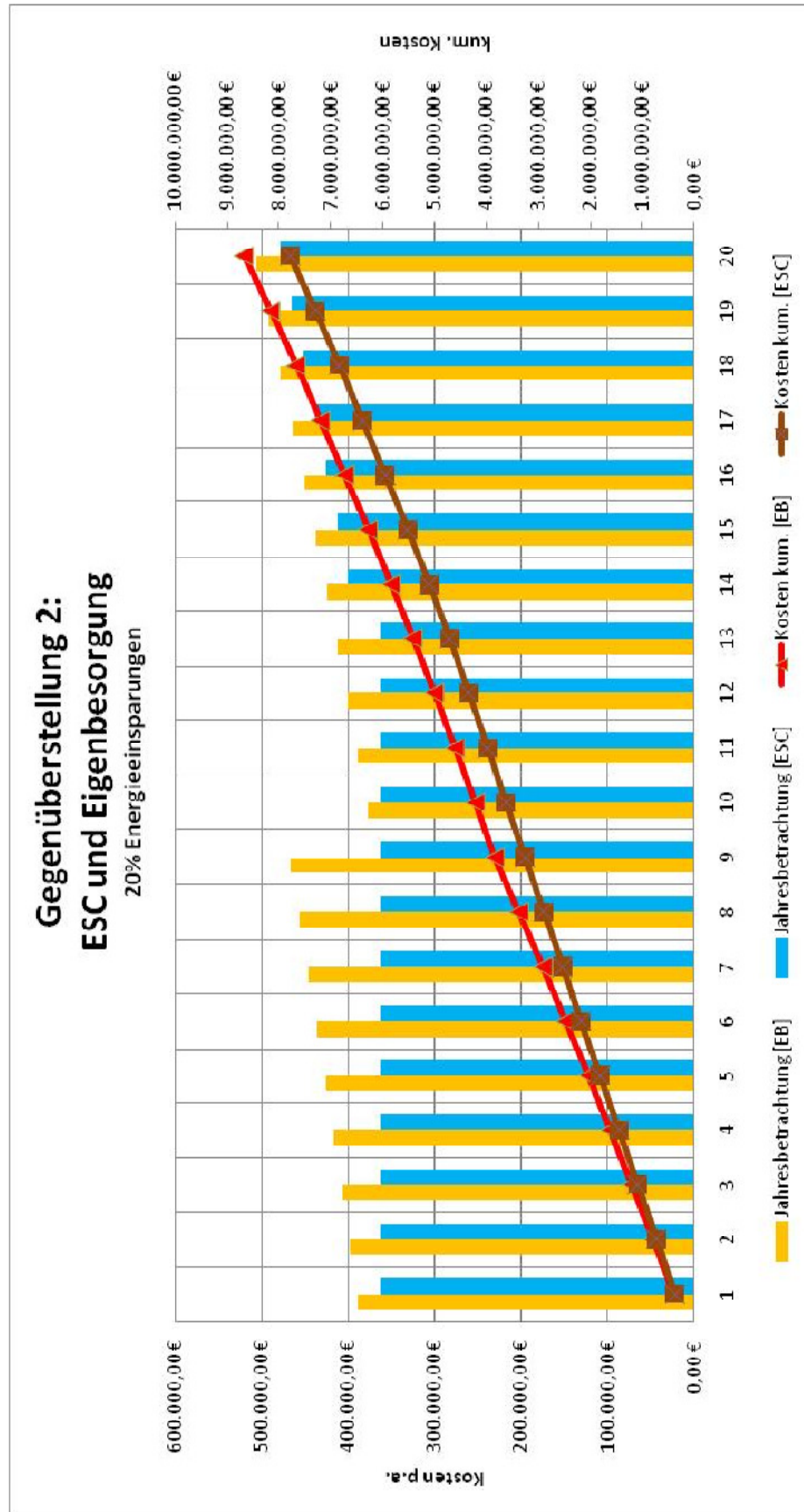
Anlage D 2: Gegenüberstellung 2/ Diagramm



Anlage E 1: Gegenüberstellung 2/ Wertetabelle

Eigenbesorgung				ESC			
Jahr	KD EB	EK pa. [EB]	Jahresbetrachtung	Kosten kum. [EB]	EK pa. [ESC]	Jahresbetrachtung [ESC]	Kosten kum. [ESC]
1	100.462,27 €	289.020,00 €	389.482,27 €	389.482,27 €	362.000,00 €	362.000,00 €	362.000,00 €
2	100.462,27 €	297.690,60 €	398.152,87 €	787.635,14 €	362.000,00 €	362.000,00 €	724.000,00 €
3	100.462,27 €	306.621,32 €	407.083,59 €	1.194.718,73 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.086.000,00 €
4	100.462,27 €	315.819,96 €	416.282,23 €	1.611.000,96 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.448.000,00 €
5	100.462,27 €	325.294,56 €	425.756,83 €	2.036.757,79 €	362.000,00 €	362.000,00 €	1.810.000,00 €
6	100.462,27 €	335.053,39 €	435.515,66 €	2.472.273,46 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.172.000,00 €
7	100.462,27 €	345.104,99 €	445.567,27 €	2.917.840,72 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.534.000,00 €
8	100.462,27 €	355.458,14 €	455.920,42 €	3.373.761,14 €	362.000,00 €	362.000,00 €	2.896.000,00 €
9	100.462,27 €	366.121,89 €	466.584,16 €	3.840.345,30 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.258.000,00 €
10		377.105,55 €	377.105,55 €	4.217.450,84 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.620.000,00 €
11		388.418,71 €	388.418,71 €	4.605.869,56 €	362.000,00 €	362.000,00 €	3.982.000,00 €
12		400.071,27 €	400.071,27 €	5.005.940,83 €	362.000,00 €	362.000,00 €	4.344.000,00 €
13		412.073,41 €	412.073,41 €	5.418.014,24 €	362.000,00 €	362.000,00 €	4.706.000,00 €
14		424.435,61 €	424.435,61 €	5.842.449,85 €	400.909,70 €	400.909,70 €	5.106.909,70 €
15		437.168,68 €	437.168,68 €	6.279.618,54 €	412.936,99 €	412.936,99 €	5.519.846,70 €
16		450.283,74 €	450.283,74 €	6.729.902,28 €	425.325,10 €	425.325,10 €	5.945.171,80 €
17		463.792,26 €	463.792,26 €	7.193.694,53 €	438.084,86 €	438.084,86 €	6.383.256,66 €
18		477.706,02 €	477.706,02 €	7.671.400,56 €	451.227,40 €	451.227,40 €	6.834.484,06 €
19		492.037,20 €	492.037,20 €	8.163.437,76 €	464.764,23 €	464.764,23 €	7.299.248,29 €
20		506.798,32 €	506.798,32 €	8.670.236,08 €	478.707,15 €	478.707,15 €	7.777.955,44 €

Anlage E 2: Gegenüberstellung 2/ Diagramm



Anlage F: Wertetabelle der Nutzwertanalyse

	Gewichtung	Kriterienerfüllung			Teilnutzen		
		Eigenregie	ESC + BKZ	reines ESC	Eigenregie	ESC + BKZ	reines ESC
Rückbau des Sanierungsbedarf	25	100	100	30	2500	2500	750
Eigeninvestition	20	0	50	100	0	1000	2000
Energieeinsparungen	10	100	100	80	1000	1000	800
Risiko	15	10	80	80	150	1200	1200
Qualität und Kompatibilität der Komponenten	10	50	80	80	500	800	800
Anlagenzustand nach 10 Jahren	10	100	100	10	1000	1000	100
Instandhaltungsaufwand	10	0	80	50	0	800	500
Summe	100				5150	8300	6150